АКАДЕМИЯ НАУК СССР

Д. И. МЕНДЕЛЕЕВ

СОЧИНЕНИЯ

XXII

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
Ленинград—Москва
1950

РЕДКОЛЛЕГИЯ:

Акад. В. Г. Хлопин (председатель), Е. Д. Волова (ученый секретарь), С. И. Вольфкович (академик), И. В. Гребенщиков (академик), Т. П. Кравец (чл.-корр. АН СССР), А. А. Максимов (чл.-корр. АН СССР), В. С. Немчинов (академик), С. Э. Фриш (чл.-корр. АН СССР)

Редактор работ Д. И. Менделеева в томе проф. П. М. ТИХОДЕЕВ

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

От редакции 11

Заявление о метрической системе 25

О необходимости возобновления образцовых единиц мер и весов в России и о расходах, для сего потребных 29

Предисловие к «Временнику Главной палаты мер и весов»* . . . 51

Личный состав Палаты. Предметы статей 1-й части «Временника». Подготовка к возобновлению русских прототипов и к сличению их с возобновленными прототипами метрической и английской систем.

О весе литра воздуха* 57

Определения Реньо (1847). Объем шара. Девять рядов взвешиваний. Поправка результатов: на вес воздуха, вытесненного гирями, на сжимаемость стенок шара и на уклонение от Бойля-Мариоттова закона, стр. 58—77.

Исследования Йолли (1880), их особенности, введение поправок и вывод, стр. 77—85.

Определения Ледюка (1892), стр. 85—87.

Исследование лорда Релея (1893), введение поправок и расчет результатов. Свод средних данных дает $e_0 = g$ 0.131844 г $\pm$ 0.0001 г, стр. 87—97.

Необходимость полных сведений о весе литра воздуха при установлении прототипов и их сличениях, стр. 98—100.

Предисловие к статье «Материалы для составления инструкции о выверке торговых мер и весов» 102

О весе определенного объема воды* 105

Общее и историческое значение определений этого рода. Принятые метрологические эквиваленты, стр. 109. Источники погрешностей. Изменение плотности воды от 0 до 25°, стр. 113. Плотность воздуха, стр. 114.

I. Исследования Шукбура (1748) и Кетера, стр. 115. Объемы и веса воды, вытесненной кубом, цилиндром и шаром, дают для 1 дм³ воды, при 4° Ц, вес 1000.55 г, стр. 126. Плотность воды *Шукбура* более 1, чем и объясняется неточность, стр. 126.

* Дальнейшие подзаголовки взяты из «Временника Главной палаты мер и весов», как составленные Д. И. Менделеевым. [*Прим. ред.*].

Стр.

II. Исследования Лефевра-Жинно (1799), отчет о них Траллеса (1810), разбор Броха (1874), стр. 127. Объем цилиндра и вес вытесненной воды дают для 1 дм³ воды, при 4° Ц, вес 999.966 г, стр. 134.

III. Исследования Купфера (1841), стр. 134. Объем двух цилиндров, стр. 136. Вес в воздухе и воде, стр. 137—147. Наиболее достоверное число, относящееся к большому цилиндру и чистой воде, стр. 148. Оно дает для 1 дм³ воды, при 4° Ц, 999.846 г, стр. 152.

IV. Исследования Ченея (1892), стр. 152. Большой цилиндр дает для 1 дм³, при 4° Ц, 999.858 г, стр. 156; шар дает 999.848 г, стр. 158.

Совокупность лучших определений Купфера и Ченея (стр. 160) заставляет считать, что вес (в пустоте) 1 дм³, при наибольшей плотности воды, не менее 999.82 и не более 999.85 г, стр. 165. Предположения о получении более точных данных для веса кубического дециметра воды, стр. 166—171.

Термометрические и барометрические измерения в Главной палате мер и весов 172

Ход работ по возобновлению прототипов, или образцовых мер длины и веса* 175

Необходимость возобновления основных прототипов русских мер длины и веса, стр. 175. Соображения, которые необходимо было иметь в виду при их возобновлении, стр. 176. Материал и форма прототипов, стр. 178. Предварительные работы по возобновлению прототипов; приборы, имеющиеся в Палате для этой цели, и их сравнительные достоинства, стр. 188. Новые способы точных взвешиваний, стр. 199. Результаты, полученные при предварительных взвешиваниях в начале 1894 г. на прежних весах, стр. 204. Работы с новыми платиноиридиевыми образцами гирь: подгонка их до номинального веса и определение плотности, стр. 206. Степень точности, достигнутая при метрологических работах в Международном бюро, стр. 208. Точность взвешиваний, произведенных в 1895 г. в Главной палате на новых весах Рупрехта и Неметца, стр. 211.

О приемах точных, или метрологических взвешиваний* 215

Вступление, стр. 215—218.

I. Способы суждения о равновесии по наблюдению колебаний. Принятые способы. «Состояние» весов — постоянное или изменчивое. Опытный закон постепенной убыли размахов. Различие постоянной C для разных весов и нагрузок. Вывод показания равновесия на основании формулы $l_n = L + R(-C)^{-n}$ или закона убыли размахов: при 2 (формулы VI и IX), 3 (формулы VIII и X) и 4 (формулы XI) элонгациях. Способы расчета равновесий в примерах, стр. 218—250.

II. О системе точных взвешиваний, основанной на изучении «состояния» весов. Составные части системы: двойное взвешивание, определение чувствительности и перемен «состояния» весов. Система из 10 взвешиваний. Уравнение «состояния»

---

* См. сноску на стр. 5. [*Прим. ред.*].

Стр.

или времени. Частности расчетов по двум примерам. Правила для системы из 10 взвешиваний. Калибрация шкалы. Правило знаков. Расчет вероятных погрешностей. Полный расчет при равных промежутках времени для системы из 10 взвешиваний. Приложение вышеизложенного к одному из полных взвешиваний, произведенных в Международном бюро, стр. 250—307.

Дополнение 1. Лемма о площадях (квадратуре) параболы $y = A + Bx + Cx^2$, стр. 307—309.

Дополнение 2. Система из 14 взвешиваний, основанная на этой лемме. Полный ее расчет при равных промежутках времени, стр. 309—315.

Общие выводы, относящиеся до приемов точных взвешиваний, стр. 315—323.

Речь о введении метрической системы (9 августа 1896 г.) 325

Протоколы сличений ярда, нарезанного на платино-иридиевой полусажени 1895 г., и английского торгового фунта R $\frac{\text{Pt Ir}_1}{1\ l.\text{A.p}}$ с основными английскими прототипами, по исследованию Ченея, Менделеева и Блумбаха 331

Предисловие проф. Д. И. Менделеева, стр. 331. Русские переводы протоколов, стр. 333—343.

Материалы для изучения современного состояния приемов поверки мер и весов, применяющихся в торговле 344

Добавление к статье А. Н. Доброхотова «Исследование пурки, или хлебных весов» 346

Календарное объединение 351

Фунт 361

О замуровании основных копий фунта и аршина в стене здания Правительствующего сената 19 февраля 1901 г. 378

Предисловие к письму профессора Симона Ньюкомба о длительности тропического года 380

Об установке для охранения в Московской Оружейной палате особых основных копий фунта, килограмма и аршина с метром на одной мере, 10 августа 1901 г. 385

Предисловие к статье «К изучению напряжения тяжести при помощи несвободного падения тел» 387

Возобновление прототипов, или основных образцов русских мер веса и длины в 1894—1898 гг. Часть вторая 394

Гл. 1. Опытное исследование колебания весов,* стр. 397. § 1. Вступление. Аналогия между весами и маятниками, стр. 397. § 2. Декремент колебания весов. Погрешность, возможная в его определении по двум, друг за другом следующим размахам, стр. 399. § 3. Определение декремента по отклонениям, стр. 404. § 4. Вывод декремента из эмпирического выражения ряда отклонений, стр. 406. § 5. Определение среднего декремента из суммы многих наблюденных элонгаций, стр. 411. § 6. Личная

* Дальнейшие заглавия параграфов, составленные Д. И. Менделеевым, взяты из отдельного оттиска данного труда. [*Прим. ред.*].

Стр.

погрешность отсчетов, стр. 425. §. 7. Наблюденные времена колебаний весов и соответствие их изменений с переменою декремента, стр. 435. § 8. Убыль декремента с уменьшением размахов, стр. 449. § 9. Сглаживание наблюдаемых отклонений, стр. 457. § 10. Наблюдение многих последовательных отклонений и расчет по ним декрементов, стр. 464. §. 11. Непрерывность уменьшения декремента. Пертурбационные отклонения, стр. 482. § 12. Ряды наблюдений над временами и отклонениями при колебании весов, стр. 492. § 13. Разбор данных, собранных в отношении к временам, и вывод законности для времен, стр. 514. § 14. Разбор данных, собранных для отклонений, стр. 527. § 15. Эмпирический закон убыли декремента, стр. 535. § 16. Эмпирический закон убыли отклонений, стр. 539. § 17. Расчет основных наблюдений по этому закону, стр. 548. § 18. Определение равновесия из наблюдения 4, 3 и 2 отсчетов, стр. 558. § 19. Обстоятельства, влияющие на времена размахов и на декременты, стр. 566. § 20. Влияние веса нагрузки. Весы Рупрехта и Неметца на 1 кг, стр. 568. § 21. Влияние веса нагрузки. Весы Эртлинга, Колло и Горячева, поднимающие 2—40 кг, стр. 586. § 22. Влияние перемен в чувствительности весов на их колебания, стр. 598. § 23. Влияние газообразной среды на колебания весов. Наблюдения колебаний в разреженном воздухе и водороде, стр. 603. § 24. Влияние размеров и формы взвешиваемых предметов на колебание весов, стр. 613. § 25. Влияние трения ножей на колебание весов, стр. 622. § 26. Изменение времен размахов и декрементов при перемене подушки, на которую опирается средний нож весов, стр. 625. Приложение. Прием параболического интерполирования 2-го и 3-го порядков при равных промежутках (для x-ов), стр. 637. Выводы, стр. 646.

Гл. 2. Описание весов, примененных при возобновлении прототипов, стр. 651—710.

Гл. 3. Приемы взвешиваний в воздухе и приведения к пустоте, примененные при возобновлении прототипов, стр. 711—721.

Об одной геометрической теореме 723

Приложения. Докладные записки по поверочному делу и некоторые служебные письма по метрологическому и поверочным делам.

Письмо В. И. Ковалевскому «О необходимости возобновления образцовых единиц мер и весов в России и о расходах, для сего потребных» 727

Письмо В. И. Ковалевскому о необходимости выяснить вопрос об отношении между английскими мерами и русскими . . . 731

Письмо Н. П. Фоллендорфу об изготовлении фунтового разновеса 734

Письмо В. И. Ковалевскому о работе, связанной с возобновлением прототипов, и о командировании за границу Д. И. Менделеева 737

Памятная записка Главной палаты мер и весов № 1 741

Письмо В. И. Михневичу о мнении торгово-промышленных учреждений по поводу введения метрической системы и о необходимости для этого определить соотношения между русскими и метрическими единицами 746

Стр.

Докладная записка С. Ю. Витте о необходимости дополнительных средств на издание «Временника» 748
Письмо В. И. Ковалевскому о присоединении России к международной конвенции об электрических единицах и единице силы света 750
Письмо В. И. Ковалевскому о необходимости приобретения концевого метра 752
Письмо В. И. Ковалевскому об итогах заграничной командировки и о необходимости благодарить лиц, содействовавших сличению русских прототипов мер в Англии 754
Сопроводительное письмо С. Ю. Витте к отчету о возобновлении прототипов в 1894—1898 гг. 759
Проект расчета отношений основных мер России, Франции и Великобритании по данным начала 1897 г. 763
Письмо В. И. Верховскому о введении метрической системы . . . 770
Письмо В. И. Ковалевскому по вопросу о десятичном делении времени и окружности 772
Заявление о реформе календаря 774
Письмо В. И. Ковалевскому об испрошении средств на постройку новых зданий Главной палаты 780
Письмо В. И. Ковалевскому о недостаточности помещений Главной палаты мер и весов и о передаче Главной палате домов Технического комитета 786
Докладная записка В. И. Ковалевскому об устройстве и распределении местных поверочных учреждений 791
Предисловие к сравнительным таблицам русских, метрических и английских мер 814
Письмо В. И. Ковалевскому об устройстве основных приспособлений для определения времени 816
Письмо в Отдел торговли Министерства финансов об утверждении временных правил для измерения давления 820
Письмо В. И. Ковалевскому о совещании по вопросу единицы давления 823
Письмо В. И. Ковалевскому о возможности зачисления лиц женского пола поверителями 825
Проект письма В. И. Ковалевскому о необходимости развития производства точных инструментов при Главной палате мер и весов 827
Письмо в Отдел торговли Министерства финансов о выверке колориметров 830
Письмо В. И. Тимирязеву о невозможности дать заключение по вопросам видоизменения колориметра Штаммера 832
Письмо М. М. Федорову о расходе средств на изучение колориметров 834
Докладная записка Э. Д. Плеске о преобразованиях, необходимых в деле поверки мер и весов 836
Письмо В. И. Тимирязеву о получении 3 пудов золота для опытов с маятником 861
Письмо М. Г. Субботину о заказе чугунных шаров для опытов с маятником 864
Письмо в Правление Кыштымских горных заводов о заказе чугунных шаров для опытов с маятником 865

ОТ РЕДАКЦИИ

Великий ученый-исследователь Дмитрий Иванович Менделеев внес неоценимый вклад в развитие метрологической науки в нашей стране. Огромное количество трудов, оставленных им в наследство будущим поколениям, его неустанная практическая деятельность, направленная на организацию поверочного дела на подлинно научной основе, наконец, широта и оригинальность взглядов — все это является для нас и сегодня образцом творческого соединения науки с жизнью, примером великого патриотического служения родной стране.

В этом смысле Д. И. Менделеев, твердо шел по пути, намеченному более чем за сто лет до него родоначальником русской науки М. В. Ломоносовым.

Как известно, именно Ломоносову принадлежит замечательная характеристика того типа ученого, который больше всего нужен России: «Требуется весьма искусный химик и глубокий математик в одном человеке. Химик требуется не такой, который только от одного чтения книги принял сию науку, но который собственным искусством в ней прилежно упражнялся... Не такой требуется математик, который только в трудных выкладках искусен, но который в изобретениях и доказательствах, привыкнув к математической строгости, в натуре сокровенную правду точным и неиспользованным порядком вывесть умеет... Химия руками, математика очами физическими по справедливости назваться может».[1]

Здесь все: и то, что ученый не имеет права отгораживаться от жизни, и то, что он обязан быть разносторонне образованным человеком, и то, что наука, в частности химия,

---

[1] М. В. Ломоносов. Слово о пользе химии.

не может быть описательной, а должна быть экспериментальной наукой, основанной на базе «меры и числа».

Д. И. Менделеев уже с первых шагов на поприще ученого оценил пророческий смысл указаний своего гениального предшественника о том, что многие неудачи, которые терпели различные ученые, являются результатом их недооценки такого могучего оружия каждого исследователя, каким являются измерения. И он твердо принял, как и Ломоносов, решение придерживаться незыблемого правила: «испытывать все, что только можно измерять, взвешивать и определять вычислением».[1]

Менделеев, пожалуй, больше чем кто-либо другой из русских ученых, походил на тот идеал естествоиспытателя и исследователя, который нарисовал Ломоносов и который, по его выражению, должен «через геометрию вымеривать, через механику развешивать, через оптику высматривать».[2]

Некоторые историографы Д. И. Менделеева склонны связывать начало его обращения к вопросам метрологии с тем периодом, когда он непосредственно стал работать в Главной палате мер и весов, т. е. с последними пятнадцатью годами его жизни. Многим это дает даже повод сделать заключение, что самое обращение великого естествоиспытателя к этой области науки явилось результатом его общей «усталости от жизни», разочарования борьбой, которую столь часто и столь долго ему приходилось вести, и стремлением найти здесь некую спокойную бухту, в которой он сумеет спрятаться от бушевавших вокруг штормов. О том, что подобные заключения являются глубоко ошибочными во всех отношениях, свидетельствуют многочисленные факты.

Уже при выполнении одной из первых своих исследовательских работ в 1859—1861 гг., называвшейся «О частичном сцеплении некоторых органических жидких соединений», Д. И. Менделеев, прежде всего, обеспечивает себя как можно более точными измерительными приборами. Причем, что особо интересно, — он неоднократно лично обращается к наиболее искусным мастерам не только с просьбой об изготовлении нужных ему деталей измерительной аппаратуры, но также просто за советом и помощью. Тогда же Д. И. Менделеев с чисто метрологической точки зрения

---

[1] М. В. Ломоносов. Опыт физической химии.
[2] М. В. Ломоносов. Слово о пользе химии.

исследует разновесы и термометр, которые служили ему образцами. Он сам изготавливает два метра оригинальной конструкции, не требовавших определения коэффициента расширения.

Другим свидетельством исключительного внимания великого ученого к проблеме наиболее точных измерений может служить выполненная им несколькими годами позже (1865) работа «О соединении спирта с водою». Тщательность подготовки эксперимента, в частности, стремление достичь предела точных измерений позволили Д. И. Менделееву создать безукоризненные алкоголометрические таблицы.

Помимо этого Д. И. Менделеев разработал даже специальный способ взвешивания при постоянной нагрузке, который, по его словам, состоял «в помещении на одну чашку весов всегда гири такого веса, для коего назначаются весы, и в нагрузке другой чашки предметом и гирями, дополняющими вес до предельного». Говоря о том, что такой способ взвешивания представит особый интерес, Дмитрий Иванович замечает, что при нем «взвешивание будет иметь все достоинства двойного взвешивания, хотя будет единичное».

Перечень подобных иллюстраций мог бы быть продолжен, однако и сказанного достаточно для того, чтобы убедиться, что глубокий интерес к метрологическим вопросам у Д. И. Менделеева появился с самого начала его научной деятельности.

Публикуемые в настоящем томе работы Д. И. Менделеева в области метрологии являются образцом глубоко научного подхода автора их к вопросам меры и веса. «... Я, — говорил Дмитрий Иванович, — стараюсь, по возможности, содействовать еще дальнейшим успехам точных взвешиваний, потому что питаю уверенность в возможности беспредельного их усовершенствования».[1] При этом он подчеркивает, что улучшение меры и веса является не только делом практически необходимым, но что от этого зависят будущие успехи естественной философии.

«В природе — мера и вес — суть главные орудия познания, и нет столь малого, от которого не зависело бы все крупнейшее. Мало того. Все узнанное в наш век заставляет думать, что, только изучая малейшее, можно что-либо познать по отношению к конечному и крупному, как видим,

---

[1] См. наст. том, стр. 215—323.

начиная от абстрактных дифференциалов математики до конкретных атомов химии».[1]

Д. И. Менделеев отличался принципиальностью и требовательностью в работе. Это хорошо знали его сотрудники и помощники. Ни один опыт не начинал он, не убедившись в том, что проделано все, что должно предшествовать опыту, особенно, когда вопрос касался методики измерений. Он тщательно выбирал приборы, которые должны были служить при измерениях. И если оказывалось, что существующие приборы не могли его удовлетворить, много внимания уделялось им возможности сконструировать новые приборы или так поставить дело, чтобы с максимально возможной пользой употребить те, которые имеются под руками.

Все это было чрезвычайно важно для Д.И. Менделеева еще и потому, что он всегда выступал ярым противником напрасных затрат времени и средств, которые часто имеют место при непродуманной организации дела. «Лучше,— говорил он,— сделать *немногие, но точные и повторные определения*..., чтобы, по возможности, не прибегать к способу наименьших квадратов для извлечения окончательного результата, чем делать многие наблюдения... Умножение числа наблюдений..., близких друг к другу, представляет не только многие затруднения для исследования, но и увеличивает погрешность вывода... Недостаток знания степени точности наблюдений составляет главнейшую причину того, что из множества существующих ныне наблюдений... нельзя еще вывести чисел..., предел погрешности которых был бы известен».[2]

Пожалуй, наиболее замечательным примером таких великолепно выполненных самим Д. И. Менделеевым экспериментов может служить его работа «Об упругости газов» (1875), — достаточно вспомнить, какое множество разнообразнейших исследований метрологического характера предшествовало появлению этого выдающегося труда.

Д. И. Менделеев, принявшись за работу, сначала внимательнейшим образом изучил устройство барометров, манометров и весов и выбрал наиболее пригодные для достижения желаемых результатов при взвешивании газов. Он учел ряд причин несогласованности в показаниях разных барометров, которые до того не принимались во внимание.

---

[1] См. наст. том, стр. 215—323.

[2] Д. И. Менделеев, Соч., т. VI, 1939, стр. 256—257.

и разработал важное положение, которое должно было лечь в основу при изготовлении особо точных весов. По его указанию были сконструированы заново и усовершенствованы такие приборы, как сифонный барометр и ртутный манометр, с помощью которого можно было измерять высокие давления, а также водяной и нефтяной термометры и другие необходимые для исследования приборы. В итоге всей этой большой и кропотливой работы Д. И. Менделеевым были получены данные, несравненно более точные, чем те, которых удавалось достичь его знаменитым предшественникам и современникам.

Еще с большей энергией Д. И. Менделеев развернул свою деятельность в области метрологии после его назначения в 1892 г. в Главную палату мер и весов. По его словам, свою задачу на этом поприще он видел в том, «чтобы с самого же начала озаботиться о возобновлении узаконенных русских прототипов мер веса и длины».[1] Великий патриот, он отлично понимал, что учреждение, во главе которого он встал, требует, «чтобы порученное ему возобновление прототипов не только не уступало позднейшим иностранным, но и внесло свой вклад в область точных измерений».[2] И он принимается за осуществление этой цели во всеоружии своих неисчерпаемых знаний, богатейшего практического опыта и ясного понимания того исключительного значения, которое подобное мероприятие будет иметь не только для развития отечественной науки, но и для русской торговли и промышленности.

Известно, что измерения, пусть на первых порах очень элементарные, играли огромную роль уже в начальной форме развития человеческой культуры. Можно сказать, что значительная часть чувственного восприятия человека таит в себе различные элементы измерения. По мере того как человеческая культура поднималась на новую, высшую ступень своего развития, росло и разнообразие инструментов и приборов, с помощью которых осуществлялись измерения, повышалась все больше и больше их точность.

Деятельность великого ученого в Палате мер и весов была как бы венцом всей его предыдущей работы в самых разнообразных областях науки и промышленности. Именно

---

[1] Д. И. Менделеев. О колебании весов Соч., т. VII, 1946, стр. 577—594.

[2] Там же.

здесь им были проведены многие блестящие метрологические исследования, которые он, хотя и не успел объединить в единый систематический курс по методике проведения точных измерений и обработке их результатов, но который, тем не менее, от этого не потерял своей исключительной важности до настоящего времени.

Получив новое назначение, Д. И. Менделеев преобразовал Депо образцовых мер и весов — учреждение, ставившее перед собой задачи весьма ограниченного значения и не имевшее почти никакого влияния в вопросах организации поверочного дела в стране, в Главную палату мер и весов. Неправильно было бы даже предполагать, что изменилось только одно название. Новая Палата вскоре стала действительно первоклассным метрологическим центром, успешно ставившим и разрешавшим самые сложные задачи.

Прошло немного времени и Главная палата, оснащенная благодаря неустанным заботам своего руководителя прекрасным оборудованием, широко раздвинув рамки своей научной и практической деятельности, не только быстро достигла уровня метрологической науки за рубежом, но в целом ряде вопросов оставила его далеко позади. Здесь были созданы прекрасные лаборатории, в которых установили самые совершенные приборы, были возобновлены прототипы, наконец, здесь Д. И. Менделеев провел целый ряд классических исследований, которые открыли широкий простор для развития метрологической науки в будущем.

Работы Д. И. Менделеева по восстановлению прототипов имели выдающееся значение для введения единых мер в России и упорядочения всего дела организации поверочной службы в стране. Великий ученый внес этим неоценимый вклад в подлинно научную разработку вопросов метрологии, создал классические образцы анализа методов измерений, открыв тем самым пути для установления новых единых мер. Прямым наследником и продолжателем традиций Д. И. Менделеева во всех этих начинаниях ныне является Всесоюзный Научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева.

Говоря о работе Д. И. Менделеева в области метрологии в период его пребывания на посту руководителя Главной палаты мер и весов, нельзя не упомянуть об очень сложных задачах, которые здесь перед ним встали. Д. И. Менделеев и в эти последние полтора десятилетия своей жизни развивал свои теоретические мысли, которые теперь были особенно обогащены огромнейшим практическим опытом, приобретен-

ным в результате его активного и весьма плодотворного вмешательства в дела развивающейся молодой русской промышленности. Можно, поэтому, утверждать, что острый, проницательный ум и глубокое мышление творца периодического закона нашли здесь важное применение, обогатив мировую науку новыми замечательными достижениями.

Среди принципиально важных научных проблем, которые Д. И. Менделеев поставил перед собой в Главной палате, в первую очередь должны быть названы проблемы определения напряжения силы тяжести, проверка закона сохранения материи, влияние формы и компактности тел на их вес, характер действия, постоянство и скорость распространения силы тяготения и мн. др. Здесь же он проводит опыты по изготовлению стеклянных баллонов со специальными приспособлениями, которые дают возможность производить внутри таких баллонов химические реакции, цель которых заключается в получении ответа на одну из поставленных им перед собой проблем — проверку закона сохранения материи.

Д. И. Менделеев проводит опытное исследование колебания весов в связи с возобновлением прототипа единицы массы, но расширяет исследования, имея намерение подойти к изучению и определению абсолютного напряжения силы тяжести. Эти, столь важные для великого ученого, эксперименты были сопряжены с особыми трудностями, главным образом потому, что Д. И. Менделеев, стремясь достичь лучших результатов, чем это удалось его предшественникам, был необычайно строг к себе и, не довольствуясь уже достигнутым, каждый раз предъявлял к себе все новые и новые требования.

Естественно, что повышение точности измерений даже на один десятичный знак вызывало необходимость новых больших усилий, нового напряжения, новой изобретательности, не только чисто экспериментального, но и технологического и конструкторского порядка. Однако эти вновь возникавшие трудности не останавливали Дмитрия Ивановича, и он, превозмогая все неизбежные в таких случаях преграды, настойчиво приближался к намеченной цели. В этом было доказательство неистощимой энергии, которую Д. И. Менделеев сумел сохранить на склоне своих лет. В этом было доказательство его верности строгой научной принципиальности при решении любых вопросов, за которые он брался.

Достижение максимально возможного предела точности измерений было одним из главных факторов, к которому Д. И. Менделеев стремился при реализации любой задачи, стоявшей перед ним. Он говорил, что пригодными могут быть «лишь такие данные, которые носят в себе признаки значительной точности».[1] И это не было только декларацией. Всей своей теоретической и практической деятельностью, системой воспитания кадров русских метрологов Д. И. Менделеев ежедневно добивался осуществления этого, если можно так назвать, своего девиза.

Одним из ярких примеров, иллюстрирующих это положение, является его отношение к весам, которые он называл «образцовым и точнейшим прибором естествоиспытателей». Великий ученый и раньше проявлял к ним большой интерес, неизменно заботясь, чтобы во время опытов имелись наиболее точные весы. Само собой разумеется, что интерес к этому прибору у него значительно возрос после перехода в Главную палату. В работе, «О приемах точных, или метрологических взвешиваний»[2] он пишет: «Если современная астрономия, опираясь на усовершенствования, вводимые как в измерения, производимые кругами и телескопами, так и в приемы наблюдений, выверки и расчетов, дает возможность проникать в беспредельную даль и измерять беспредельно большое и далекое, то в деле изучения видимого и доступного основным прибором, проникающим в беспредельно малое и близкое, должно считать весы, уже давшие начало всем современным химическим знаниям, проникшим до понимания бесконечно малых величин индивидуализированных атомов, и от усовершенствования способов взвешиваний должно ждать еще много новых успехов естественной философии, особенно же выяснения хотя бы некоторых сторон всеобщего, но еще таинственного всемирного тяготения... Уже для одного того, чтобы содействовать проникновению в подробности сведений, относящихся до силы тяжести, необходимо приложить все возможные усилия к дальнейшей выработке приемов точнейших взвешиваний. А так как для их производства неизбежно необходимы сложные и многоценные приспособления, доныне применяемые лишь в главных метрологических учреждениях, то эти последние, разрабатывая способы точных взвешиваний, не только служат своим

[1] Д. И. Менделеев, Соч., т. III, 1934, стр. 414.
[2] См. стр. 215—323 настоящего тома.

специальным целям, но и дают общий, немаловажный вклад в естественную философию. Да послужит вышесказанное объяснением того, что я... вдаюсь во многие подробности лишь для того, чтобы содействовать увеличению точности взвешиваний от миллионных частей груза до миллиардных их долей».

В этих словах Д. И. Менделеева не только законченное обоснование большой важности такого, до сих пор еще некоторым представляющегося малозначащим, прибора, каким являются весы, и вопрос об их усовершенствовании, — здесь грандиозная по масштабам и по своей сложности программа работ, для осуществления которой Дмитрий Иванович приложил столько ума и сил. Вклад, внесенный им, был чрезвычайно велик, и имя его золотыми буквами вписано в историю развития метрологической науки. Сделанное нашим великим соотечественником уже тогда выдвинуло центр русской метрологии — Главную палату мер и весов в число передовых мировых учреждений подобного типа.

Было бы, однако, непростительной ошибкой, говоря о деятельности Д. И. Менделеева как метролога, не упомянуть хотя бы о том чрезвычайно большом значении, которое имел «метрологический подход» ученого во время разработки им периодического закона, составившего вечную славу научной мысли России. Ведь именно затруднения в получении четкой классификации, возникавшие перед Менделеевым из-за отсутствия резких различий между многими элементами, он преодолел отчасти благодаря тому, что выбрал объективно возможные признаки и этим путем выявил такие ряды элементов, где эти различия и их закономерность были более отчетливы. Таких иллюстраций, указывающих на важнейшую роль измерений при создании, проверке правильности и аргументации периодического закона, можно было бы привести много.

И все же, сколь бы ни велики были заслуги Д. И. Менделеева в развитии метрологии, ценность их оказалась бы не столь значительной, если бы все сделанное им не имело выдающегося практического применения. Однако в том-то и состоит огромнейшее, поистине неоценимое значение его трудов, что он никогда, какую бы проблему ни выдвигал, не был оторван от жизни. Все, над чем работал великий ученый, — находило неизменное практическое применение. Д. И. Менделеев внес такой вклад в развитие науки и промышленности, который мало кому удалось внести не только из его предшественников, но также и из его современников.

В связи с этим не лишне будет привести здесь слова Д. И. Менделеева, имеющиеся в записях, которые он сделал 10 июня 1905 года, т. е. всего за полтора года до смерти. В них Дмитрий Иванович сам как бы подводит итог жизненному пути, пройденному им: «Я... все силы напряг, выйдя из университета, на практику экономической жизни России. Такие дела, как бездымный порох или „меры и весы", были только каплями высоких порывов повлиять на экономическое положение России при посредстве своей меры влияния... Я старался — пока могу, буду стараться, — дать плодотворное промышленное, реальное дело своей стране в уверенности, что политика, устройство, образование и даже оборона страны ныне без развития промышленности немыслимы, и весь конец желаемых по мне преобразований, вся свобода, . . . тут сосредоточены. Наука и промышленность, — вот мои мечты».

В трудах великого ученого по вопросам промышленности мы находим многочисленные его прямые и косвенные указания об организации измерений в самых различных областях и условиях. И на все он смотрит, как сам много раз говорил, «глазами естествоиспытателя», все оценивает своим особенным, точным менделеевским глазомером.

Наряду с разработкой общих положений, касающихся правильного ведения поверочного дела, Д. И. Менделеев рассматривает многочисленные частности, с которыми можно встретиться только в промышленных условиях или в лабораториях, где опытным путем достигаются результаты, которые потом становятся делом заводов и фабрик.

Промышленность, в первую очередь, — неоднократно подчеркивал Дмитрий Иванович, — принимая во внимание всю ее сложность и специфичность, представляет огромное поле для приложения ломоносовских «меры и числа». Промышленности необходимо великое множество измерений, которые требуют особых знаний и очень часто даже особой изобретательности. В частности, указывал Д. И. Менделеев, это относится к тем областям промышленности, где недостаточен технический уровень производства и где измерения могут и должны способствовать улучшению качества работы и достижению более высокой производительности.

Имея в виду, главным образом, прикладную механику, Дмитрий Иванович говорил: «Измерения, касающиеся сил, составляют ту важную часть знания, которая... чаще и скорее других способов знания ведет к обладанию измеряемыми

силами».[1] Выдвигая это положение, великий ученый лишний раз подчеркивает, как важно добиваться расширения применения «меры и числа» и использования их в самых различных формах.

Стремясь развить как можно больше степень приложения измерений в области промышленности, Д. И. Менделеев всегда делал это на прочной научной основе, проявляя при этом глубокие знания, богатейший опыт, инициативу и, наконец, никогда не размениваясь на мелочи, а находя во всем основное и главное, за что следует ухватиться. «Если,— говорил он, — без науки не может быть современной промышленности, то без нее [промышленности] не может быть и современной науки».[2]

Не лишне напомнить, например, что именно под влиянием прогрессивных взглядов этого замечательного естествоиспытателя целый ряд русских промышленников завел на своих заводах исследовательские лаборатории, в частности измерительные, а также стал проявлять значительно больше внимания к вопросам технического образования и повышения квалификации своих работников. Стремление связать проблемы измерений с промышленностью у Д. И. Менделеева проявляется много раньше его перехода в Главную палату мер и весов, т. е. тогда, когда для него впервые стало ясно, как он сам сказал, что «Наука и промышленность, — вот мои мечты». Это он лишний раз подтверждает, когда говорит, что «мастика, ртутный насос без кранов, новый способ изготовления барометров, дифференциальный барометр, а особенно его применение для нивелирования, способ калибрования трубок, опыты над сопротивлением трубок разрыву, новое устройство катетометров и способ наблюдения ими могут быть полезны в техническом отношении, потому что техника все более и более сближается с практикой опытных наук и лабораторные приемы ныне очень часто целиком переходят в заводские и вообще технические».[3]

Измерения Д. И. Менделеев рассматривал как основу, больше того, — как обязательный фактор для научного и промышленного прогрессивного развития страны, как условие для развития рационализаторского и изобретательского дела на заводах и фабриках, в экспериментальных лабораториях и институтах. По свидетельству одного из историо-

[1] Д. И. Менделеев. О сопротивлении жидкостей и о воздухоплавании. Соч., т. VII, 1946, стр. 291—462.
[2] Д. И. Менделеев. Толковый тариф. Соч., т. XIX, 1950.
[3] Д. И. Менделеев. Соч., т. VI, 1939 г., стр. 234.

графов, великий ученый не расставался с измерительными приборами, отправляясь в свои многочисленные поездки в разные концы страны. Он сам проделал множество разнообразных измерений, причем не только в лабораторных условиях, но также во многих отраслях промышленности и сельского хозяйства.

Большой заслугой Д. И. Менделеева являются его многочисленные и настойчивые указания о необходимости глубокого анализа различных цифровых данных, касающихся не только специально научных, но и промышленных и социально-экономических проблем, при этом он подчеркивал, что предметом такого анализа прежде всего должны быть вопросы «наиболее простые, т. е. наименее запутанные, и в то же время способные к измерению». Великий ученый, не уставая, призывал к тому, чтобы цифровые данные, характеризующие состояние различных промышленных и социально-экономических областей жизни страны, концентрировались в одном специально созданном для этих целей учреждении общероссийского значения. Эта идея Д. И. Менделеева, на совершенно иной основе, чем он себе это представлял, была осуществлена лишь после великой Октябрьской революции и сослужила исключительную по своему значению службу в деле развития нашего социалистического народного хозяйства.

Публикуемые в настоящем томе работы Д. И. Менделеева в области метрологии являются убедительнейшей характеристикой огромного размаха и необычайной широты вопросов, которыми занимался великий ученый.

В своем «Учении о промышленности», Д. И. Менделеев говорит слова, которые хорошо знают в нашей стране, сумевшей в невиданно короткий срок преобразовать все свое народное хозяйство на новый социалистический лад: «Земля ограничена, а знаниям грани не предвидится. Поэтому и промышленность, соединившись со знанием и науками, обещает развиваться безгранично».[1]

И наша наука не только бережно охраняет посев, произведенный корифеем естествознания, она собирает с него богатый урожай, она многократно умножает его новыми достижениями в различных областях знания, которые уже привели, а в будущем приведут к еще большему расцвету промышленности и культуры советской страны.

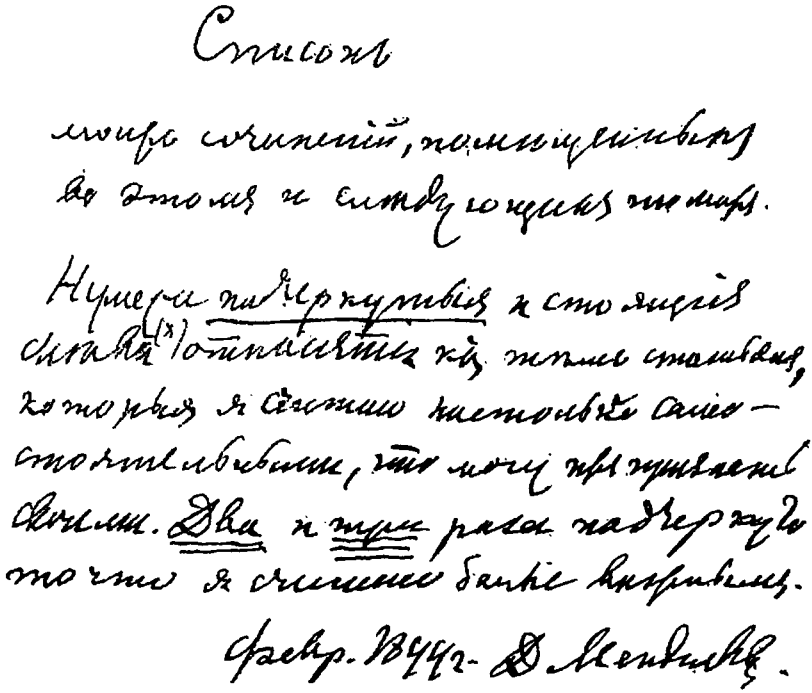
---

[1] Д. И. Менделеев. Учение о промышленности. Соч., т. XX, 1950.

Все работы, включенные в данный том, печатаются без изменений по подлинникам. Небольшая часть работ метрологического характера помещена в V и VII томах Собрания сочинений. Докладная записка «О необходимости возобновления образцовых единиц мер и весов в России и о расходах, для сего потребных» была в свое время опубликована как ведомственный документ, однако тираж ее был очень ограничен, и широкому читателю она осталась неизвестной.

В приложении дается целый ряд не опубликованных ранее докладных записок, а также служебных писем Д. И. Менделеева. Среди них — письма директору и вице-директору Департамента торговли и мануфактур Министерства финансов, касающиеся вопросов, связанных с возобновлением прототипов, или образцовых единиц мер и веса в России, с введением метрической системы в России, с необходимостью увеличения помещений Главной палаты мер и весов вследствие расширения ее деятельности; министру финансов и товарищу министра финансов по вопросом организации проверки колориметров, слесарных мастерских в Главной палате мер и весов, проведения опытов с качающимся маятником, начатых Д. И. Менделеевым незадолго до его смерти. Большинство из этих документов публикуется впервые.

Редколлегия.



Список моих сочинений, помещенных в этом и следующих томах.

Нумера, подчеркнутые и стоящие слева,* относятся к тем статьям, которые я считаю настолько самостоятельными, что могу их признать своими. Два и три раза подчеркнуто то, что я считаю более важным.

Февр[аль] 1899 г. Д. Менделеев.

Труды Первого съезда русских естествоиспытателей в С.-Петербурге, происходившего с 28 декабря 1867 г. по 4 января 1868 г.; СПб., 1868, отд. II, стр. 105—106.

ЗАЯВЛЕНИЕ О МЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Объединение народов останется мечтою мира и прогресса, пока не подготовлены к тому пути. До сих пор, кроме стихий, только печатное слово, торговля и науки скрепляют интересы народов. Это крепкие связи, но не всесильные. Подготовлять же связь крепчайшую обязан каждый, кто понимает, что настанет, наконец, желанная пора теснейшего сближения народов. Воздухоплавание, попытки отыскать мировой язык и всеобщие письмена, международные выставки и даже самые стачки — маяки на этом долгом пути.

Есть между этими попытками одна, не стоящая ни миллионов, как выставки, ни громадных усилий опыта и ума, как воздухоплавание, — это попытка склонить народы к единству мер, вéсов и монет.

Число, выраженное десятичным знаком, прочтет и немец, и русский, и араб, и янки одинаково, но живое значение цифр для них чересчур разнообразно, даже одно слово часто имеет неодинаковые значения у разных народов. Так, фунт неодинаков — английский, рейнский, венский, валахский, русский, испанский, китайский, даже и рижский, ревельский, курляндский.

Давно стремятся установить однообразие в этом отношении. Побуждает к тому польза, очевидная для каждого.

Система, пригодная для этой цели, должна быть прежде всего десятичною, потом все меры в ней должны одна от другой происходить. Так, от меры длины должны происходить меры поверхности, емкости и вéса чрез десятичное изменение.

Такова метрическая система, составленная во времена первой республики французскими и иностранными учеными.

Исходным пунктом для нее служит метр, или одна сорокамиллионная доля земного меридиана. Качества ее лучше всего выражены в четырех кратких положениях Комиссии мер и весов, бывшей на последней всемирной выставке и имевшей председателем нашего акад. Якоби. Вот эти положения:

1. Десятичная система лучше всякой другой может выразить подразделения мер, вéсов и монет, потому что совпадает с системой счисления.

2. Выведенная научно, метрическая система отличается однообразием всех соотношений, простотою и легкостью приложения к наукам и искусствам, к промыслам и торговле, а потому она наиболее пригодна к всеобщему распространению.

3. Образцы этой системы исполняются ныне с точностью, вполне удовлетворительною не только для практики, но и для научных работ нашего времени.

4. Введение метрической системы должно относить к разряду экономических мер, потому что допущение ее сберегает время работы материальной и умственной, как машины и снаряды, железные дороги и телеграфы или как логарифмические таблицы.

Эта система ныне уже принята во Франции, Бельгии, Голландии, Италии, Испании и Португалии, Греции, Мексике, Чили, Бразилии и в республиках Центральной Америки. Англия и Северные Американские Штаты допустили ее употребление в торговле и во многих внутренних отношениях, готовятся к ее принятию Швеция, Швейцария, Пруссия и Австрия сделали уже некоторые изменения в своих системах для согласования с метрическою.

России будет легче, чем многим другим странам, принять метрическую систему не только потому, что наша хорошо выработана, но и потому, что у нас десятичный счет, например денег, давно употребляется, что видно даже из нашего народного инструмента — счетов. Несомненно, что когда-нибудь и мы примем метрическую систему, для того, однако, нужна подготовка. Мерами к тому могут служить: допущение этой системы в разных правительственных отношениях, в подрядах, в сборе таможенных, весовых и тому подобных пошлин.

Но эти меры не относятся до нашего съезда. Упоминаю же я о предмете сообщения только потому, что и мы нашими слабыми силами можем содействовать подготовке к введению метрической системы.

Станем употреблять ее постоянно в наших научных исследованиях и только в случае нужды рядом будем означать наши обыкновенные меры и веса.

Введем в наши лекции и уроки данные метрические, чтобы развить в наших слушателях привычку соображать по этой системе.

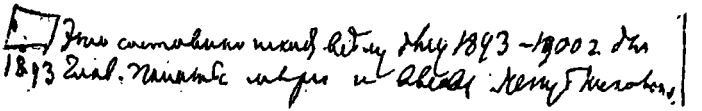
Снабдим наши кабинеты, лаборатории и музеи образцами мер и вéсов этой системы.

Будем нашим ученикам внушать необходимость принятия этой системы.

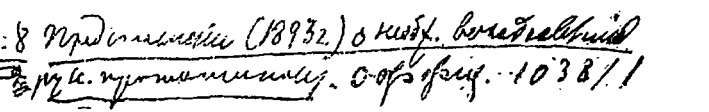
Станем требовать в школах знакомства с этой системою.

Все это возможно нам, и потому решаюсь обратить на это внимание съезда.

Облегчим же и на нашем скромном поприще возможность всеобщего распространения метрической системы и чрез то посодействуем и в этом отношении общей пользе и будущему желанному сближению народов. Не скоро, понемногу, но оно придет. Пойдем ему навстречу.



1893 Это составило исход всему делу 1893—1900 г. для Глав[ной] палаты мер и весов. Не публиковано.



308 Представление (1893 г.) о необх[одимости] возобновления русс[ких] прототипов. Оффиц[иально]. 1038/1

Главная палата мер и весов. Дело № 14 «О необходимости возобновления образцовых единиц веса в России» (21 XII 1892—12 XI 1899), л.л. 263—270.

Его превосходительству
директору Департамента торговли и мануфактур
Владимиру Ивановичу Ковалевскому

Докладная записка ученого
хранителя мер и весов

О НЕОБХОДИМОСТИ ВОЗОБНОВЛЕНИЯ ОБРАЗЦОВЫХ ЕДИНИЦ МЕР И ВЕСОВ В РОССИИ И О РАСХОДАХ, ДЛЯ СЕГО ПОТРЕБНЫХ*

Назначение хранить узаконенные в империи меры и веса заставило меня прежде всего ознакомиться с прежним и современным состоянием русских основных единиц или прототипов мер и веса и вникнуть в условия установления единообразия и соответствия с законом всяких мер, применяемых в промышленности и торговле России. Видя недостатки ныне существующих образцов веса и длины, спешу довести до сведения вашего превосходительства о необходимости их возобновления, так как всякие мероприятия, касающиеся до объединения мер и весов в империи, должны, по существу своему, прямо зависеть от сохранной неизменности прототипов. А так как возобновление прототипов представляет, судя по примерам других стран, дело очень сложное, продолжительное и сопряженное с затратами немалых средств, то я считаю своею прямою обязанностью, без малейшего замедления, известить его высокопревосходительство г-на министра финансов, чрез посредство вашего превосходительства, о необходимости безотлагательно начать возобновление русских прототипов. Перечисляя в конце записки причины, заставляющие приступить к сему возобновлению, считаю необходимым вначале упомянуть в кратких чертах о том, что сделано в этом

* Издана отдельным печатным оттиском в 1892 г. [*Прим.*

отношении в других государствах, так как чрез это уясняется современное положение предмета в России.

Возобновление основных единиц веса и длины в последние десятилетия произведено во всех государствах Европы и в большинстве иных стран. Великобритания, [...] заботящаяся о правильности мер и вéсов, в средине сего столетия должна была воспроизвести свои единицы длины и веса (точно установленные в 1758—1760 гг.) по причине пожара (1834), приведшего в негодность прежние прототипы. Для возобновления воспользовались копиями, хранившимися в различных учреждениях Англии, равно и сличением с французскими прототипами, так как ранее того английские прототипы были сличены с французскими.

Вновь установленные английские прототипы (Imperial Standard Yard and Imperial Standard Pound) замурованы ныне в особом помещении Вестминстерского дворца, после предварительного сличения с четырьмя другими прототипами, хранящимися в Royal Mint, Royal Society, Royal Observatory and Standards Office.[1] Срочное сличение этих копий между собою повторяется с 1852 г. чрез каждые 10 лет, а сличение их с основными образцами — чрез каждые 20 лет. Последнее сличение (февраль 1892 г.) заставило представителя Board of Trade (Henry G. Calcraft) и суперинтенданта мер и вéсов (H. J. Chaney) высказаться ныне[2] за необходимость нового возобновления основного прототипа английского фунта, возобновленного в 1855 г.[3] История французских прототипов метра и килограмма, устроенных в конце прошлого столетия (1798) и хранящихся в государственном архиве (Archives), такова, что для всех настоящих и будущих сличений

---

[1] По букве английского закона (Weights and Measures, 1878) основным прототипом ярда и фунта считаются их экземпляры, хранящиеся в Board of Trade, но так как они применяются для сличений и так как узаконено возобновление этих прототипов при всяком их изменении, открываемом при сличении с другими копиями, и так как копии, замурованные в парламентском здании, не применяются и подлежат поэтому наименьшей возможности изменяться, то, по существу дела, эти последние прототипы должно признать истинными основаниями великобританской метрологической системы.

[2] В рапорте парламенту, опубликованном от 20 июня 1892 г. по приказу Палаты общин.

[3] В существующем прототипе найдена убыль веса, зависящая от его применения для проверок и равная 0.00230 грана, или 0.149 мг. В русском же прототипе фунта существует сомнительность, доходящая до 5.600 мг, как указано далее (в 18-й выноске).

в 70-х годах текущего столетия Международною метрическою комиссиею, в которой участвует и представительство России, устроены новые прототипы и их проверенные — со всею, ныне возможною, точностью — копии, распределенные между нациями. Такие проверенные копии метрических прототипов имеются ныне и в нашем Депо мер и вéсов. А так как в последние десятилетия многие страны, начиная с Бельгии и Голландии и кончая Германиею и Турциею, заменили прежние свои системы мер и веса метрическою, то во всех них произошло возобновление прототипов, выполненное на основании метрических единиц. Все это показывает, что за последние десятки лет возобновление прототипов мер длины и веса совершилось, по той или иной причине, всюду. Основные причины общности такого явления состоят в том: 1) что ранее последних десятков лет не имелось тех приемов и сведений, которые применяются ныне для того, чтобы придать прототипам свойства, представляющие наиболее ручательств как за сохранность и неизменность прототипов, так и за возможность их точного возобновления при случайности их порчи или истребления,[4] и 2) что за последние десятки лет значительно возросла — противу того, что было 40 или более лет тому назад, — та степень точности, с которою можно производить точные копии и всякие сличения гирь и мер длины, а потому возросла и требовательность предъявляемая при установлении прототипов и их копий применяемых для выверки торговых мер и вéсов.

---

[4] Так, например, прежде не умели ни очищать платину, ни придавать ей механическую однородность сплавлением в такой мере, как это возможно ныне. Сверх того, ныне, при установке прототипов, основные меры сличают с копиями и хранят эти образцы вне всякого применения, могущего давать доводы к порче и изменениям, а для сличений пользуются лишь копиями, которые только чрез многие годы вновь сличаются с основными прототипами, чего прежде не делали и что давало всегда повод предполагать некоторые изменения в прототипах. Таково было в прежнее время положение французских основных (архивных) прототипов метра и килограмма, и таково доныне положение русских прототипов. Однако же при установке основных килограмма и метра (1798) были уже сделаны тождественные с ними копии, сохранившиеся и доныне, при установлении же русского платинового прототипа фунта сделан был лишь один его экземпляр (платиновые копии фунта, если и были сделаны, ныне никому не известны и нигде не найдены), неоднократно применявшийся для взвешиваний, как и архивный французский килограмм. Уже это одно обстоятельство достаточно указывает на необходимость возобновления русских прототипов веса и длины.

Так как Россия приняла участие в Международной комиссии для возобновления и распространения прототипов метрической системы и уже получила точные копии килограмма и метра, то могло бы казаться, что в России можно признать эти основные прототипы. Но такое мнение нельзя считать основательным уже потому, что в России действует иная система измерений, обоснованная на русском фунте и на мере длины, узаконенной в зависимости от английского фута (7 футов = 1 сажени = 3 аршинам = 48 вершкам). Ввести же метрическую систему, как единственную узаконенную, едва ли ныне своевременно в России, хотя впереди, при возрастании торгово-промышленной деятельности империи, предвидится возможность узаконения метрической системы, мало-помалу всюду распространяющейся, — вследствие ее выгодности относительно десятичного подразделения всяких мер, совпадающего с десятичным счислением, уже всюду вытеснившим всякие иные виды счисления (по дюжинам, пяткам, пáрам и т. п.). Все, чего следует ныне желать в отношении распространения метрической системы в России, состоит в том, чтобы, не делая ее обязательною, дозволить законом ее применение или факультативное пользование ею в актах и сделках всякого рода.[5] Ныне, когда введение в России метрической системы должно считать лишь делом будущего времени, необходимо возобновить прототипы русского фунта и аршина уже по той причине, что современные основные русские прототипы имеются или в единичном экземпляре, каков платиновый фунт, или в виде шести экземпляров — платиновой сажени, из коих ни одна не признана исключительным прототипом, и еще потому, что вышеназванные прототипы, после своего узаконения, сперва (до 70-х годов) хранились без особых, неизбежно необходимых предосторожностей, что могло служить к их изменению.

Назначенный быть хранителем образцовых мер России, я считаю своим первым долгом заявить о том, что основные прототипы мер и веса империи требуют немедленного возобновления для приведения их в состояние возможно прочной неизменности. Для сего следует: 1) изготовить новые образцы прототипов фунта и аршина и хранить оные

[5] Такое факультативное принятие Россиею метрических измерений следует обставить лишь одним узаконением, выражающим истинные отношения между русскими мерами и метрическими, подобно тому как это совершено в Великобритании (Weights and Measures Acts, 1878, ст. 18, прил. 3; Metric Equivalents).

вне применения, т. е. пользоваться ими лишь весьма редко и при соблюдении особых, нарочито указуемых, предосторожностей; 2) новые прототипы привести в полное возможное согласие с ныне узаконенными и 3) устроить узаконенные копии прототипов, коими пользоваться при установлении единства мер и веса в Империи. Тот образ измерительных действий, который необходим для выполнения такого возобновления русских прототипов, несомненно вытекает из приемов, примененных в Англии и в Международной комиссии для подобной же цели, а в дальнейшем изложении будет указан способ, которым может быть достигнута и надлежащая мера проверки тех приемов, которые будут применены при возобновлении русских прототипов. Кроме того, способы действия, необходимые при этом возобновлении, есть время подвергнуть подробному обсуждению, пока будут изготовляться экземпляры прототипов и их копий. Прежде же всего следует обратиться для осуществления возобновления к государственным средствам, для сего потребным, а потому в дальнейшем изложении я останавливаюсь преимущественно на исчислении тех расходов, которые неизбежно необходимы при возобновлении образцов русского фунта и аршина. Ввиду значительности предстоящих расходов я исчислил наименьшие их размеры.[6] Так, например, я ввел в расчеты снабжение платиновыми копиями прототипов лишь центрального русского учреждения для проверки мер и весов или единичной в Империи Палаты мер и весов, а между тем было бы полезно с самого начала снабдить подлинными платиновыми (тождественными с прототипами) копиями Москву (например Грановитую палату и Университет), Государственный банк и Монетный двор. Но тогда расходы увеличились бы почти в два раза, я же принял за основание сделать расчет расходов, потребных при наименьшем возможном числе копий основных прототипов русских фунта и аршина. Предлагая аршин, а не сажень для возобновления русского прототипа длины (как это было уже однажды предложено моим предшественником, В. С. Глуховым), я имел в виду не только специальные требования, далее отчасти перечисленные, но и соображения экономические, так как при этом

[6] Для сокращения расходов можно было бы (как сделано в Англии) устроить прототипы длины не из платины, а из бронзы, но я не решаюсь предложить такую меру, так как в России уже ныне платина служит для прототипов и введение бронзовых образцов представляет много риска в отношении однородности материала.

многие расходы сокращаются более[7] чем в три раза. Расходы же, необходимые для персонала, долженствующего производить обширные и точнейшие работы, сопряженные с возобновлением фунта и аршина, равно как и многие мелкие материальные расходы, с сим связанные, я вовсе не вводил в расчет, так как имел в виду, помимо возобновления прототипов, потребность в снабжении Палаты мер и весов как необходимым персоналом, так и другими средствами и предполагал, что возобновление образца русского фунта и аршина составит первейшую обязанность учреждения, назначаемого для соблюдения единства мер и веса в Империи. Уже 12 лет воздвигнуто прекрасное здание для Палаты государственных мер и вéсов, но, пока оно не снабжено достаточным штатом лиц и средств, его нельзя считать достроенным. Окончание устройства начнется лишь тогда, когда учреждение для государственных мер и вéсов получит надлежащие штаты и возобновленные и твердо обставленные законами прототипы меры и вéса.

Чтобы придать основным единицам русских мер ту степень неизменности или сохраняемости, какая отвечает достижимым ныне требованиям, необходимо возобновить образцы мер длины и вéса, узаконенных в России, исходя из существующих. Что же касается до мер емкости сыпучих тел и жидкостей и других единиц мер, то они получатся уже из мер длины и вéса, как основ всей метрологической системы. Так, например, соблюдая закон о числе фунтов воды, входящих при данной температуре в ведро, уже возможно получить оное вновь в Палате мер и вéсов со всею желаемою и возможною степенью точности.

За основную единицу веса, как узаконено, должно признать *фунт*. Для получения нового образца русского фунта должны служить:

1) Платиновый образец русского фунта, хранящийся ныне в Депо мер и весов, устроенный акад. Купфером и упомянутый в Своде законов (ст. 658 Торг. устава, изд. 1887 г.). Оставить его впредь в виде исходного образца, однако, невозможно, по той причине, что в нем имеются раковины,

---

[7] Саженным прототипам следовало бы придать бóльшую толщину, чем та, которую возможно придать прототипам аршина, а следовательно, вес первых должен был бы превосходить вес вторых более чем в три раза.

могущие с течением времени наполняться пылью: притом он не полирован, т. е. его поверхность представляет царапины, и вообще он не удовлетворяет совокупности желаемых для образца признаков и условиям прочной неизменности до того, что уже ныне он не может служить единственным средством для возобновления узаконенного прототипа русского фунта и только в комбинации с другими средствами для возобновления прототипа русского фунта может служить одним из средств для установления нового образца.

2) Так как русский фунт многократно сличался с английским фунтом и с различными образцами килограмма, то на основании одних сих сличений можно возобновить образцовый русский фунт, тем более, что ныне в Депо мер и вéсов имéется подлинный платино-иридиевый килограмм, выверенный Международною комиссиею мер и весов, и английский фунт (Avoirdupois), выверенный в Board of Trade.

Для установки нового образца русского фунта необходимо не только руководствоваться всеми известными и достоверными сличениями русского фунта с иностранными единицами веса, но и вновь сличить, со всею возможною точностью, русский фунт, упомянутый в 1-м пункте, с международным килограммом и с другими основными единицами иностранного веса, имеющимися в Депо мер и вéсов. Такое сличение даст результат или тождественный (в пределе точности прежних измерений) с прежде произведенными, или к ним близкий. В этом последнем случае нельзя будет отдать ни одному из данных предпочтение и необходимо будет принять за норму русского фунта величину, близкую к средней из всех определений подобного рода, ибо нельзя быть уверенным ни в том, что платиновый образец русского фунта остался вполне неизменным после прежде сделанных сличений, ни в том, что возобновленные в последние 30 лет прототипы иностранных единиц веса вполне тождественны с теми, которые в прежнее время служили для сличения с русским фунтом. Притом и степень точности сличений, ныне возможная, гораздо значительнее, чем та, которою мог располагать акад. Купфер и другие исследователи 40 лет тому назад.

Таким образом получится для русского фунта величина, с возможною точностью выражающая законом принятую единицу русского фунта. Эту-то величину и должно выразить в *новом прототипе русского фунта*, устроив оный со всею ныне доступною степенью совершенства.

Такой новый прототип русского фунта должен быть сохраняем как единственная единица узаконенного русского веса.[8] Он может быть применяем для дальнейших сличений только в особо исключительных случаях, при соблюдении особых сложных предосторожностей, подобно тому как это установлено для основных единиц в Англии, Франции и других странах. Назовем этот фунт *A*.

В главном русском учреждении для проверки мер и весов (которое выше названо Палатою мер и весов) должен быть другой русский фунт *B*, до возможной степени тождественный с *A*, сохраняемый со всеми надлежащими предосторожностями и применяемый для сличений только в особо исключительных случаях. Отношение фунта *B* к фунту *A* должно быть установлено со всею доступною для современности точностью (примерно до 0.000 000 02, т. е. до двух стомиллионных долей веса фунта, или до 0.008 мг), ранее чем фунт *A* поступит для хранения и послужит для всех сличений. Фунт *B* должен сохраняться в Палате мер и весов лишь для весьма редких случаев основных сличений. Но рядом с ним в центральном русском учреждении для проверки мер и весов необходимо иметь третий фунт, *C*, который будет служить прототипом для текущих сличений, производимых Палатою для распространения однообразных единиц веса в Империи. Этот фунт *C* должен быть, как *B*, предварительно сличен с *A* и чрез некоторые сроки, например после стократного применения, сличен с фунтом *B*, чтобы таким образом следить за неизменностью образца *C* и знать в каждый момент отношение его веса к весу основного фунта *A*.

Сверх трех образцов платинового фунта (*A*, *B* и *C*) при установке прототипа веса необходимо иметь платиновые же подразделения фунта, составляющие в сумме 1 фунт *D*.[9]

---

[8] Обыкновенно прототипы веса сохраняются ныне под двойными стеклянными колоколами, но для основного прототипа, назначаемого для очень редких взвешиваний, мне кажется, следовало бы применить сохранение в безвоздушном пространстве, так как из воздуха с течением времени все же могут осаждаться на металлы некоторые вещества. Способ же сохранения в металлическом футляре, неспособном к герметическому запору, примененный доныне для хранения прототипа русского фунта, нельзя считать удовлетворительным для своей цели.

[9] Для удобства и точности предстоящих сличений желательно было бы иметь отдельные наборы: лотов, золотников и децимальных делений фунта, что составит около $1\frac{1}{4}$ фунта гирь. Так, лоты должны составить. $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{2}{16}$, $\frac{1}{32}$, и $\frac{1}{32}$ фунта, что даст 1 фунт. Набор золотников подобным же

Этот сложный фунт также должен быть сличен с *A*, *B* и *C* и приготовлен из одного с ними материала. Он необходим не только для начальной работы установки фунта, но и для дальнейших работ Палаты мер и весов, особенно же потому, что доли разностей веса сличаемых гирь (например килограмма и фунта) должны быть заранее приведены в точное соответствие с фунтом *A*, и в Палате мер и весов должны быть нормальные подразделения фунта. Эти доли фунта *D* должны быть в Палате мер и весов сличаемы периодически как с фунтом *C*, так по временам с фунтом *B*. А так как исходом для установления фунта должен, между прочим, служить международный килограмм, а русский фунт составляет лишь долю килограмма (именно 1 русск. фунт почти= =0.409515 кг), и так как метрические единицы ныне должно считать наиболее твердо установленными и распространеннейшими, то при установке русского фунта необходимо иметь и подразделения килограмма *E*, предварительно сличенные с международным килограммом и приготовленные из того же материала, как фунты *A*, *B*, *C* и *D*. Таким образом, для установки единицы веса в России, или прототипа русского фунта, необходимо устроить, по крайней мере, следующие гири:

	Вес около
1) Основной прототип фунта *A*	410 г
2) Основная единица веса для Палатымер и весов или фунт *B*	410 »
3) Главный фунт *C*, назначаемый для сличений	410 »
4) Подразделения фунта *D*	410 »
5) Подразделения килограмма *E*	1000 »
	2640 г

или все вместе около $5^1/_2$ русских фунтов.

Все эти гири должны быть выполнены, во-первых, из совершенно одного и того же металла, по возможности, не изменяющегося с течением времени (не окисляющегося, не заключающего летучих составных начал и т. п.), во-вторых, с такою степенью внутреннего (без раковин внутри и т. п.) и внешнего (без наружных пороков, с превосходною политурою и т. п.) совершенства, какая доступна современной

образом составит лот, набор долей — золотник. Кроме того, весьма полезно иметь набор из гирь в $^{10}/_{100}$, $^5/_{100}$, $^2/_{100}$ и $^1/_{100}$ фунта и такой же набор тысячных долей фунта.

технике сего дела, и, в-третьих, с возможным однообразием[10] плотности (после надлежащего сильного сдавливания) и всех иных свойств, чрез что взаимные сличения не только сделаются более точными, но и приведение к совершенной пустоте станет более несомненным. Таким требованиям удовлетворяют в высшей мере только два (из применяемых доныне) металла: платина и иридистая платина.[11] Хотя последняя применена Международною метрическою комиссиею для установления образцов метра и килограмма, но ее нельзя считать пригодною для прототипов веса более, чем чистую

---

[10] Однообразие в свойствах и уплотнение металла могут быть достигнуты вытяжкою сплавленного металла в цилиндр надлежащего диаметра и сдавливанием под сильным гидравлическим прессом в стальной обойме.

[11] Монетный сплав золота с медью представляет много достоинств для произведения прототипов, но его не применяют для сей цели, отчасти руководясь соображениями экономического свойства и обычаем, установленным Франциею в то время, когда платина стоила (4000 руб. кред. пуд) дешевле, чем ныне. Ныне особо не очищенная платина стоит за пуд около 10—12 тыс. руб. кред. Пуд чистого золота стоит около 21 тыс. руб. кред., сплав же его с 10% меди стоит около 19 тыс. руб. кред. Выделка такого сплава может быть произведена на Монетном дворе, и при ней представляется технических трудностей менее, чем при выделке прототипов из чистой или из иридистой платины, так что ныне в окончательном виде золотые прототипы обойдутся, вероятно, дешевле платиновых. Тем не менее, при возобновлении русских прототипов, по моему мнению, следует придерживаться платины, потому что узаконенные прототипы сделаны из платины и всякое нововведение в установке прототипов должно быть предпринимаемо не иначе, как после надлежащего предварительного испытания. Ввиду последнего соображения, для дальнейших успехов метрологии было бы полезно, если бы оказались на то достаточные средства, устроить сверх платиновых русских прототипов один золотой, хотя бы в виде фунтовой гири, которая обойдется около 500 руб. кред., а вместе с золотым прототипом аршина — около 5000 руб. кред. Эти золотые копии прототипов, если оные будут устроены, следовало бы, для надлежащих наблюдений, сдать в Палату мер и весов для хранения и периодического взвешивания вместе с копиею, означенною буквою *В*. А так как вопрос о материале для изготовления всяких прототипов веса и меры доныне нельзя считать достаточно и окончательно выясненным с опытной стороны, то, пользуясь случаем возобновления русских прототипов, полезно было бы единовременно с установкою платиновых и золотых образцов построить также образцы из серебряного (монетного) сплава, из монетной (твердой) меди, из нейзильбера и из бронзы. Эти опытные прототипы, ценность которых не может быть значительною, следует подвергнуть в Палате мер и весов последовательному наблюдению. Такой образ действия должен доставить ценные указания в отношении качества материалов, из которых должны изготовляться образцовые меры, назначаемые для центральных и местных проверочных учреждений. При этом случае полезно изучить и способы сохранения образцов гирь и мер, приготовленных из различных материалов. Эти метрологические исследования, однако, не должны задерживать возобновления основных платиновых прототипов.

платину, потому что главное преимущество иридистой платины состоит лишь в ее твердости, но это свойство для гирь, применяемых как прототипы, не должно иметь особого значения, так как такие гири трению подвергаться, по возможности, вовсе не должны, и если трение их допустить, то изменения в весе будут происходить при всяком материале, даже если бы взят был алмаз. Главными же причинами, побуждающими склониться к изготовлению прототипов из чистой платины, служат следующие три обстоятельства: 1) Чистую платину изготовить и получить от мастеров во много раз легче, чем иридистую платину надлежащей чистоты, так как в последнем случае необходимо иметь не только чистую платину, но и чистый иридий, получение же последнего, в чистом виде, представляет несравненно более трудностей, чем изготовление чистой платины. 2) Содержание иридия в иридистой платине может подлежать значительным изменениям, не определимым по внешним признакам, и Международная комиссия, при всем содействии массы ученых и техников, едва после трех лет усилий получила такой сплав, которым могла удовлетвориться, а именно с содержанием 10% иридия.[12] Для изготовления гораздо меньшего количества иридистой платины, чем то, какое потребовалось для Международной комиссии, нет возможности надеяться, без затраты особо крупных средств, получить желаемый по свойствам сплав иридия с платиною, а между случайными сплавами сих металлов встречаются такие, которые легко тускнеют от поверхностного изменения. Ничего подобного нет повода ждать для чистой платины, полученной сплавлением и подвергнутой надлежащей механической обработке. 3) Основные прототипы как русского фунта, так и французского (Kilogramme des archives) килограмма и английского фунта изготовлены были из платины, и сохранность их соблюдалась в надлежащей мере, хотя во время их изготовле-

[12] Построение новых русских прототипов из иридистой платины можно было бы считать удобным лишь тогда, когда можно было бы получить от завода Маттей, в Лондоне, остаток той иридистой платины, которая доставлена этой фирмою для международных килограммов и метров, когда было бы полное ручательство в тождестве металла. Однако такой способ изготовления русских единиц меры и веса не только подвергался бы многим случайностям при сношении с единичным собственником, но и лишил бы возможности иметь впредь тождественные копии основных единиц. Притом, возможно чистую платину есть надежда приготовить в России на заводе или на Монетном дворе под наблюдением хранителя мер и весов, что дало бы обеспечение во внутренних достоинствах металла.

ния не были еще введены способы плавки платины, ныне дающие ручательство за однородность массы. Сверх того, по своей ценности чистейшая платина будет гораздо доступнее, чем иридистая платина определенного состава (с 10% иридия, иные же сплавы нельзя рекомендовать никоим образом).

На основании сих соображений, а также вследствие того, что по закону в России доныне единицею веса считается образец фунта, приготовленный из платины, должно признать за наилучшее изготовить возобновляемые русские прототипы и их копии именно из платины, а не из иридистой платины. Только тогда, когда приспеет возможность, надобность и явная польза от узаконения в России метрической системы, быть может, будет полезно для изготовления прототипов (килограмма и метра) перейти к сплаву платины с иридием, как к металлу, примененному для международных прототипов метрических мер. Ныне же, когда основные русские меры только воспроизводятся в том виде, который ручается за их сохранную неизменность, а метрическая система может быть только дозволена к применению, полезно сохранить и материал, которым доныне обусловлены в русских законах прототипы единиц веса и длины, т. е. изготовить их из платины.

Для производства всех тех взвешиваний, которые необходимы для возобновления русского фунта и других мер, от него происходящих, неизбежно потребны, сверх имеющихся ныне в Депо мер и весов, некоторые новые приборы, отвечающие современным требованиям точных измерений. Сюда относятся:

1) Весы, назначаемые для взвешивания 1 кг, с чувствительностью до 0.005 мг.[13] Для установки международных кило-

---

[13] Весы, назначаемые для взвешивания в разреженном пространстве, уже заказаны для Депо мер и весов. Они будут полезны для дела, но обосновать сличение на подобных весах, по моему мнению, не следует не только потому, что их достоинство еще сомнительно и они не послужили для взвешиваний, производившихся при возобновлении важнейших прототипов Франции и Англии, но и потому особенно, что совершенную пустоту получить и удержать достаточно долго в весах ныне невозможно; сделать же поправку на плотность разреженных газов будет очень рискованно ввиду недостаточности сведений о плотности разреженных газов, которые, судя по моим исследованиям (Об упругости газов. 1873), представляют большие отступления от комбинации законов Бойля-Мариотта и Гей-Люссака (с изменением, по Ван-дер-Ваальсу), весьма хорошо выражающих изменение плотности воздуха при давлениях, близких к атмосферному. Если заказанные для Депо весы, назначенные для разреженных

граммов такие весы доставлялись механиком Колло в Париже и венским механиком Рупрехт (Rueprecht). По каталогу (1892 г.) этого последнего, подобные весы в простейшем своем виде (№ 53) стоят 1850 гульд. в Вене, а при введении надлежащих для полноты приспособлений, с доставкою в Россию, они обойдутся около 2000 руб. кред. Они будут служить для сличения целых килограмма и фунта. Для мелких подразделений килограмма и фунта имеются уже в Депо мер и весов требуемые весы надлежащей чувствительности.

2) Но так как при установке прототипа русского фунта, во-первых, потребуется вновь с надлежащею точностью установить образцы гирь в несколько фунтов и выверить пудовые гири и, во-вторых, потребуется вновь определить возможно точное отношение между весом кубической меры воды и фунтом, а для сего необходимо производить взвешивание больших (для уменьшения погрешностей) масс,[14] и так как имеющиеся ныне (в Депо мер и весов) весы для пудовых количеств по точности своей не отвечают современным требованиям, то необходимо приобрести еще весы, дающие возможность взвешивать до 5 пудов с чувствительностью до миллиграммов, как это возможно при современном состоянии техники дела. Такие весы (каталог Рупрехта 1892 г., № 63, 2300 гульд. в Вене) обойдутся с доставкою около 2500 руб. кред.

3) Как при точном взвешивании в воздухе гирь, так особенно при сличении мер длины и при нахождении веса кубической меры воды необходимо абсолютное определение температур воздуха и воды, а для сего необходим воздушный (газовый) термометр в той степени совершенства, какая принята в Международной метрической комиссии. Такой термометр с платиновым резервуаром будет стоить около 3000 руб. кред.

При возобновлении прототипа русского фунта было бы весьма уместно, пользуясь случаем, укрепить значение нового

газов, окажутся удовлетворительными для точного взвешивания, на них полезно будет произвести сличечия, но опираться все же следует на весы обычного типа. Из числа таковых в Депо есть одни, которые могут быть применяемы для взвешивания фунта и килограмма, но их чувствительность ниже, чем та, до которой ныне уже удается достигать.

[14] Изменение плотности воды с температурою, как я показал в недавней своей статье (Журн. Русск. физ.-хим. общ., 1891; и Philos. Magaz., 1892, № 1), ныне настолько же нельзя считать известным с точностью, отвечающей современным требованиям, насколько и отношение объема воды к ее весу.

образца русского фунта сличением его с английскими и французскими, как наиболее твердо установленными, прототипами — в соответственных местных учреждениях. Простейшим для сего способом могла бы служить отправка подразделений килограмма *E* в Париж и фунта *C* в Лондон — после того, как эти гири будут сличены во всех отношениях в России. Фунты *A* и *B*, международный килограмм и английский фунт, имеющийся ныне в Депо, оставаясь за это время в России, на месте, могли бы служить для убеждения в том, что во время посылки гири *C* и *E* не претерпели изменения. Такой способ действия окончательно укрепил бы соотношение между русским фунтом и иностранными единицами веса, послужил бы ручательством в точности сличений, наглядно указал бы ту степень доверия, которую можно предъявлять к современным методам сличения гирь и, наконец, представил бы способ окончательной установки соотношения русского фунта к иностранным.

Возобновление русской единицы или прототипа *мер длины* представляет менее трудностей, чем для возобновления русского прототипа фунта, потому что императором Петром Великим установлено, что русская сажень, или 3 аршина, должна равняться 7 англ. футам, чем уже и узаконено международное значение русских мер длины. Ныне образцовая русская мера выражена в виде шести платиновых линеек, длиною каждая в сажень, вложенных в борозды, устроенные на боковой поверхности медного цилиндра. Эта система выражения единицы меры представляет три недостатка: 1) шесть линеек не могут быть тождественными, и остается избирать за норму или среднее из шести, или одну из шести сажен, что оставляет место произволу; 2) в торгово-промышленной деятельности сажень как единица измерений применяется гораздо реже, чем ее подразделения, особенно аршин, тем более, что обращение с крупною единицею длины не представляет удобств в обыденной жизни, и 3) пользование саженным прототипом как единицею длины и даже его достодолжное приготовление представляет массу трудностей — в самых проверочных учреждениях, что и заставило все страны прибегнуть к приготовлению своих прототипов меньшей длины (ярда в Англии, метра во Франции и т. п.). На основании этого должно признать необходимым, исходя из английского ярда (= 3 фута), из имеющихся шести образцов сажени и из международного метра, установить новый прототип длины для России и избрать для сего *аршин.*

Подобно тому, как это выше рассмотрено для фунта, необходимо изготовить четыре основных аршина:[15] один будет служить коренным прототипом, сохраняемым в полной неприкосновенности, другой будет служить для той же цели в Палате мер и весов, третий в ней же будет служить для текущих сличений (компарирований), при заготовке образцов мер для губерний, а на четвертом, кроме двух конечных линий, отвечающих аршину, должно назначить подразделения аршина на дюймы и вершки, что может содействовать к облегчению предварительных и дальнейших метрологических работ. Все четыре такие аршина должно подвергнуть точнейшему сличению как между собою, так и с международным метром и английским футом. Два из этих аршинов полезно послать вместе с образцами фунта для нового сличения в Париж и Лондон.

По соображениям, развитым в отношении к прототипу фунта, и ввиду того, что и доныне в Своде законов (Торговый устав) принята единица меры длины, выраженная в виде платиновых полос, должно признать именно платину за материал, наиболее подходящий для возобновленной единицы длины в России.[16] Если каждому аршину будет придано сечение, подобное тому, какое дано международному метру, и размер сечения доведен до $1^1/_2$ см^2 и притом, если каждый экземпляр такого аршина будет положен на соответственную бронзовую опорную балку, дающую при помощи катков опорные точки самому платиновому аршину, то каждый такой прототип должно считать обеспеченным не менее, чем

---

[15] Для точного перехода от фута к аршину полезно было бы иметь в Депо мер и весов выверенный в английском Standard Office ярд из материала, равного с новыми русскими прототипами аршина, но такое желание не составляет необходимости, потому что: 1) в Депо мер и весов имеется бронзовый ярд, недавно сличенный в Standard Office; 2) отношение ярда к метру очень точно установлено, а метр из иридистой платины имеется в Депо с надлежащими условиями точности. Если бы средства дозволяли это, то было бы наиболее полезно сделать из платины новых русских прототипов футовую меру и сличить оную в английском Standard Office. Быть может, было бы возможно заменить четвертый платиновый аршин — платиновым ярдом или футом с делениями на дюймы, но при этом могла бы скоро пострадать от частоты применения вторая платиновая копия аршина, назначаемая для сличений Палаты мер и весов.

[16] В Англии прототип ярда и его узаконенные копии изготовлены не из платины, а из пушечной бронзы (16 частей меди, $2^1/_2$ части олова и 1 часть цинка). Предлагая сделать прототип аршина из платины, а рядом иметь и метки аршина на бронзе, я надеюсь, что этим способом достигнутся немалые метрологические выгоды.

международные метры, относительно условий сохранности, неизменности длины и удобства измерений, тем более, что сопоставление платины и бронзы даст возможность судить о температуре прототипа, если на бронзовой опорной балке будут нанесены соответственные добавочные черты.

Количество чистой платины, которое пойдет на четыре прототипа аршина, достигнет до $10^1/_2$ кг, что вместе с платиною, потребною для гирь, составит в сумме около 13 кг чистой платины.

При установлении прототипов аршина, сверх приборов, имеющихся ныне в Депо мер и весов, и сверх вышеупомянутого газового термометра, потребуется полный прибор Физо для определения коэффициентов расширения металлов. Стоимость такого прибора достигает до 2500 руб.

А для того, чтобы установить соответствие между русским фунтом и аршином, следует выполнить новое основное метрологическое исследование для определения веса кубической меры воды при некоторой определенной температуре (например, при температуре наибольшей плотности воды или при температуре таяния льда). Для этого, кроме других соответственных приборов, необходимо устроить с возможною тщательностью бронзовый цилиндр емкостью около кубического аршина, чтобы погрешности в линейных его измерениях довести до возможно малых величин. Устройство его[17]

---

[17] Должно заметить, что исследования об отношении между объемом и весом воды при ее наибольшей плотности, хотя служили исходом при установлении веса килограмма (1 килограмм предположено было устроить равным по весу в безвоздушном пространстве кубическому дециметру воды при наибольшей ее плотности), но исследования, послужившие для сей цели (Lavoisier et Haüy, 1793, и позднее Lefèvre-Gineau), оказались при повторении определений недостаточно точными и отличающимися как от прежде произведенных определений этого рода, так и от более поздних, на величину, достигающую до 1 г (или $^1/_{1000}$ кг). Таким образом, ныне вес кубической меры воды при определенной температуре должно считать известным только с грубым приближением или с погрешностью ± 0.001 веса. Причиною тех разноречивых показаний, которые встречаются в исследованиях этого рода, служит, без сомнения, прежде всего то обстоятельство, что доныне измерения этого рода производились с помощью тел малого объема. Определения линейных измерений вообще менее точны, чем измерения веса, и чем менее измеряемый размер, тем более уменьшается сравнительная степень точности определения длины, а следовательно, и объема. Поэтому я предлагаю взять объем значительный и притом такой, который не потребовал бы находить подразделения основных единиц длины, что всегда сопряжено с накоплением новых погрешностей. Так, например, следует взять цилиндр с диаметром, близким к 1 аршину или к 1 м и с такою же высотою. Если будет взят цилиндр диаметром около 1 аршина и высотою около 1 м, то его объем (около 400 дм^3)

вместе с соответственными добавочными приспособлениями должно стоить не менее 3000 руб.

Судя по вышеизложенному, главными поводами для возобновления прототипов фунта и аршина служат следующие обстоятельства:

1) Прототип фунта, ныне существующий, долгое время (особенно до перенесения в новое здание Депо мер и весов) хранился при условиях недостаточного обеспечения неизменности веса и носит на себе внешние признаки несовершенства исполнения.

2) Прототипов сажени ныне несколько, и так как они не могут быть тождественны, то выбор одной из сажен,

---

можно определить с точностью до 3 см^3 (или до 0.000 007 5 всего объема), и тогда главный повод к погрешности определений исчезнет, так как *вес* вмещающейся воды можно *определить по частям* с точностью, еще большею, чем та, с которою определится объем, как показали мне предварительные опыты и расчеты. Такими способами я надеюсь достичь точности (до $\pm$ 0.000 008 веса) в определении веса известного объема воды, если в распоряжении будет цилиндр, вмещающий не менее 400 литров воды. Его следует исполнить из металла, по возможности вполне однородного (отлить из бронзы под давлением) и способного к точнейшей обточке. Работа этого рода, подобная работе колец, применяемых для скрепления большекалиберных пушек, по собранным мною справкам, при весе цилиндра в 50 пудов, будет стоить около 2000 руб. Затем потребуется приспособление (облегающий сосуд с регуляторами уровня, давления и температуры) для удержания постоянства температуры, звездки для точного определения диаметра и другие приборы, общая стоимость которых будет не менее 1000 руб., а потому я считаю необходимым испрашивать на указанный предмет 3000 руб. Исследования, подобные вышеописанному, могут производиться только в учреждениях, назначенных для прототипов мер и веса, и, по своей значительной стоимости и особой единовременной исключительности, не могут выполняться за счет средств, назначенных на текущие работы Палаты мер и весов. А так как существующий закон (Торг. устав, ст. 652) указывает как на одно из определений фунта — именно на объем 1 фунта воды, то исследования об отношении между объемом и весом должно считать непосредственно связанными с возобновлением русских прототипов веса и длины. Пока будут изготовляться платиновые прототипы, могут быть подготовлены и все приспособления для определения отношения между объемом и весом, так что исследования эти едва ли задержат возобновление основных прототипов. Сверх того, считаю долгом обратить внимание на то, что если упомянутое исследование будет произведено с должною точностью в Палате мер и весов, то оно послужит не только к укреплению русских прототипов веса и длины, но и к возвышению научного международного значения русского учреждения для метрологических исследований, и это не может остаться без влияния на укрепление доверия к русским торговым мерам и весам, так как основную задачу Палаты мер и весов должно составить точное объединение мер, применяемых в торговле и промышленности Империи, и укрепление во всем мире доверия к постановке метрологических задач в России.

или средней из них, будет произволен и может показать отличие от 7 англ. футов.

3) Сажень по своей значительной длине не пригодна для точнейших сличений, и для сей цели аршин более соответствует требованиям дела.

4) Существующие прототипы не имеют копий, тождественных по материалу и времени изготовления и хранимых в различных местах, а для сохранности основных прототипов подобные копии неизбежно необходимы, как это ныне всюду признается.

5) Существующие ныне русские прототипы сличены лишь с прежними иностранными прототипами, ныне же следует установить отношение русских прототипов к возобновленным за последние годы иностранным прототипам, сделать же это с достаточною точностью можно не иначе, как имея несколько копий русских прототипов, обладающих одинаковыми свойствами и сличенных между собою до крайней ныне возможной точности.

6) Степень точности сличений и качество материалов для прототипов сделали несомненные и важные успехи с тех пор, как устанавливались русские прототипы, которые за протекшее время перенесены из С.-Петербургской крепости в новое здание для Депо мер и весов и ранее сего перенесения хранились без надлежащих предосторожностей, что дает повод к сомнению в их полной неизменности.

7) Без новой правильной установки прототипов фунта и аршина единство мер и весов в России не может быть выполнено во всей, ныне возможной строгой точности, так как ныне есть поводы сомневаться как в совершенной точности данных акад. Купфера, так и в совершенной сохранности сделанных при нем платиновых прототипов фунта и сажени.[18]

---

[18] Достаточно указать для примера на то, что, согласно с указанием акад. Купфера, принято, что 1 кг = 2 русск. фунта + 42 золотника + 40.54 доли = 2.441899 фунта.

Отсюда

1 русск. фунт = 0.4095175 кг (A)

А из наиболее достоверных сравнений, сделанных акад. Купфером, бывший ученый хранитель мер и весов В. С. Глухов (печатный его доклад 1 февраля 1875 г., стр. 17) вывел, что

1 русск. фунт = 0.40951196 кг

и предложил считать

1 русск. фунт = 0.409512 кг (B)

Разность (A) от (B) = 0.0000055 кг, или $5\frac{1}{2}$ мг (или на тонну около

8) Пример всех стран показывает, что ныне наступила пора возобновить все прототипы, устроенные ранее 1850 г., и приготовить, сверх основных прототипов, узаконенные их копии из материалов того же рода, как и основные прототипы.

Таким образом, возобновление прототипов аршина и фунта должно считать неизбежным, а для производства возобновленных единиц мер веса и длины и для их сличения средствами Палаты мер и весов, когда оная будет снабжена персоналом лиц, имеющих надлежащие знания, потребуется, считая лишь основные (материальные) расходы в наименьших возможных размерах:

1) По крайней мере 13 кг, или около $31\frac{3}{4}$ русск. фунта чистой платины, материальную стоимость которой должно считать, при цене обычной платины в 12 000 руб. пуд, около	9600 руб.
2) Особо тщательное очищение этой платины, ее сплавление и превращение в гири и аршины	4400 »
3) Окончательная выверка гирь и нанесение делений на аршинах, произведенные у соответственных мастеров, вместе с доставкою [19]	3000 »

$13\frac{1}{3}$ г). Эта разность превосходит, по крайней мере, в 500 раз ту погрешность, которую допускают современные способы взвешиваний при установке прототипов и их основных копий. Разность в $5\frac{1}{2}$ мг при весе в 1 фунт явно покажут исправные весы банков и весы научных лабораторий. В журнальных (неизданных) заметках Депо мер и весов, по указанию В. И. Тимирязева, нашлись, кроме того, наблюдения (1875), произведенные В. С. Глуховым, В. И. Тимирязевым и Ф. П. Завадским, относящиеся до платинового образца русского фунта; из них выведено, что

$$1 \text{ русск. фунт} = 0.409515109 \text{ кг} \qquad (C)$$

Отношение: 1 фунт = 0.40951156 кг, наиболее часто применяемое, так же как все предшествующие, нельзя считать твердым и предпочтительным. Устанавливать с должною и ныне возможною степенью строгости точность русских весовых измерений невозможно, пока сомнения подобного рода существуют и пока они не устранятся предполагаемым возобновлением прототипа русского фунта.

[19] Доставка выделанных образцов гирь и аршинов должна сопровождаться особенно сложными мерами предосторожностей. Совокупная стоимость 13 кг платиновых образцов в принятом счете равна 9600 + + 4400 + 3000 = 17 000 руб. кред. или (при курсе 1 франк = 40 коп. кред.) = = 42 500 франков, т. е. за грамм около $3\frac{1}{4}$ франка. При заказе платиновых гирь, когда грамм чистой платины ценится около $1\frac{3}{4}$ франка (или около 12 000 руб. кред. за пуд), обычная цена назначается около 3 франков за грамм. Поэтому вышеприведенный расчет, вероятно, будет недалек от действительности. Ввиду неполной определенности предстоящих затрат, желательно, при испрошении кредитов на возобновление единиц русского веса и длины, положить некоторую сумму на могущие потребо-

4) Весы для килограммовой нагрузки с чувствительностью до стомиллионных долей такого груза	2000 руб.
5) Весы для груза в 5 пудов, чувствительные до миллиграммов	2500 »
6) Газовый термометр с платиновым резервуаром	3000 »
7) Прибор Физо для коэффициентов расширения	2500 »
8) Цилиндр и другие приспособления для определения веса кубического аршина воды в фунтах	3000 »
	30 000 руб. кред.[20]

При сем необходимо обратить внимание на то, что курс в предшествующем счете для иностранных заказов принят равным 40 коп. кред. за 1 франк, и на то, что заказ некоторых из указанных предметов может быть выполнен только немногими из иностранных мастеров. Однако заготовление чистой платины и ее первую обработку, быть может, полезно будет исполнить на русских заводах,[21] что и желательно для облегчения наблюдения за достоинством и чистотою металла. Во всяком же случае, исполнение всех заказов потребует не менее как годичного срока, и так как выполнение соответственных исследований также займет много времени, то, ввиду настоятельной надобности возобновить основные меры России, желательно, чтобы разрешение на производство заказов было дано в ближайшее время.

Считаю, сверх сего, долгом довести до сведения, что уплаты по кредиту для возобновления русского фунта и аршина потребуются не ранее, как с средины 1893 г., если заказы произведены будут в самом его начале; часть же уплат, вероятно, придется на 1894 г.

Если ваше превосходительство найдете убедительными доводы, приведенные мною для доказательства спешной необходимости начать возобновление русских прототипов, то, вероятно, не откажете ускорить представление об этом пред-

---

ваться добавочные расходы, к числу которых следует причислить и расходы по посылке фунта и аршина в Париж и Лондон для сличения в местных центральных учреждениях.

[20] Рассчитывая лишь наименьшие расходы, потребные при возобновлении русских прототипов, тем не менее я считаю обязанностью упомянуть, что существо дела, вероятно, потребует немалых иных расходов, например на особых наблюдателей в помощь хранителю мер и весов, на издание отчета возобновлений и т. п.

[21] Сырую (самородную) платину, необходимую для сего, возможно получить от Горного ведомства, где она собирается в виде горной подати от промышленников. Ее стоимость за пуд ныне от 6 до 9 тыс. руб кред.

мете его высокопревосходительству министру финансов, Сергею Юлиевичу Витте, и я буду ждать случая приложить все возможные усилия к тому, чтобы возобновленные прототипы фунта и аршина ответили современным научным требованиям и положили твердые основы для единообразия мер и весов в России.

Ученый хранитель мер и весов
Д. Менделеев

заслуженный профессор и доктор имп. С.-Петербургского университета, доктор законов Эдинбургского университета, доктор философии Гёттингенского университета, член Королевских обществ Лондона, Эдинбурга и Дублина, члеи академий: Датской, Американской, Югославянской, Краковской и Чешской, почетный член Совета торговли и мануфактур, Русского физико-химического общества, имп. Р. технического общества, химических обществ в Нью-Йорке и Лондоне и проч.

21 декабря 1892 г.

ПЕЧАТАНО ПО РАСПОРЯЖЕНИЮ ДЕПАРТАМЕНТА МАНУФАКТУР И ТОРГОВЛИ.

МИНИСТЕРСТВО ФИНАНСОВЪ, ПО ДЕПАРТАМЕНТУ ТОРГОВЛИ И МАНУФАКТУРЪ.

ВРЕМЕННИКЪ

ГЛАВНОЙ ПАЛАТЫ МѢРЪ И ВѢСОВЪ.

ЧАСТЬ I.

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.
Тип. В. Демакова, Новый пер., д. № 7.
1894.

Временник Главной палаты мер и весов, ч. 1, 1894, стр. V—VIII.

ПРЕДИСЛОВИЕ *

Главная палата мер и весов помещается в особом здании (по Забалканскому проспекту ** № 19, против Технологического института), выстроенном Министерством финансов в 1875—1878 гг. для бывшего Депо образцовых мер и весов, прежде того помещавшегося в С.-Петербургской крепости. Первоначальным ученым хранителем образцовых мер и весов был акад. Купфер, потом проф. В. С. Глухов, а с 1892 г. проф. Д. И. Менделеев. С 1875 г. помощником хранителя образцовых мер и весов состоял Ф. П. Завадский.

К концу февраля 1894 г. в Главной палате служат следующие лица:

Управляющий Главною палатою мер и весов — заслуженный профессор, доктор С.-Петербургского, Эдинбургского и Гёттингенского университетов Д. И. Менделеев.

Инспекторы Главной палаты мер и весов: 1) отставной подполковник артиллерии А. И. Скиндер; 2) бывший доцент Варшавского университета, кандидат С. И. Ламанский (исправляет должность инспектора); 3) место вакантное.

Поверитель: Ф. П. Завадский, инженер-технолог.

Лаборанты: 1) магистрант С.-Петербургского университета, доктор Гёттингенского университета Ф. Ф. Селиванов и 2) окончивший по 1-му разряду курс С.-Петербургского университета В. Д. Сапожников.

Механик: кандидат Юрьевского (Дерптского) университета Ф. И. Блумбах.

---

* Этим предисловием начинается «Временник Главной палаты мер и весов», ч. 1, 1894, стр. III. Прежде всего в нем уведомляется об утверждении в установленном в то время порядке «Положения о Главной палате мер и весов». Затем следует само Положение, приведенное в действие с 1 июля (ст. ст.) 1893 г. Оно было разработано в основе самим Д. И. Менделеевым. Затем следует собственно предисловие, которое здесь и воспроизводится. [*Прим. ред.*].

** Ныне (с 1918 г.) — Международному проспекту. [*Прим. ред.*].

Делопроизводитель: коллежский секретарь А. И. Кузнецов.

На основании 5-й статьи Положения *, по мере накопления материалов, будет издаваться «Временник Главной палаты мер и весов».

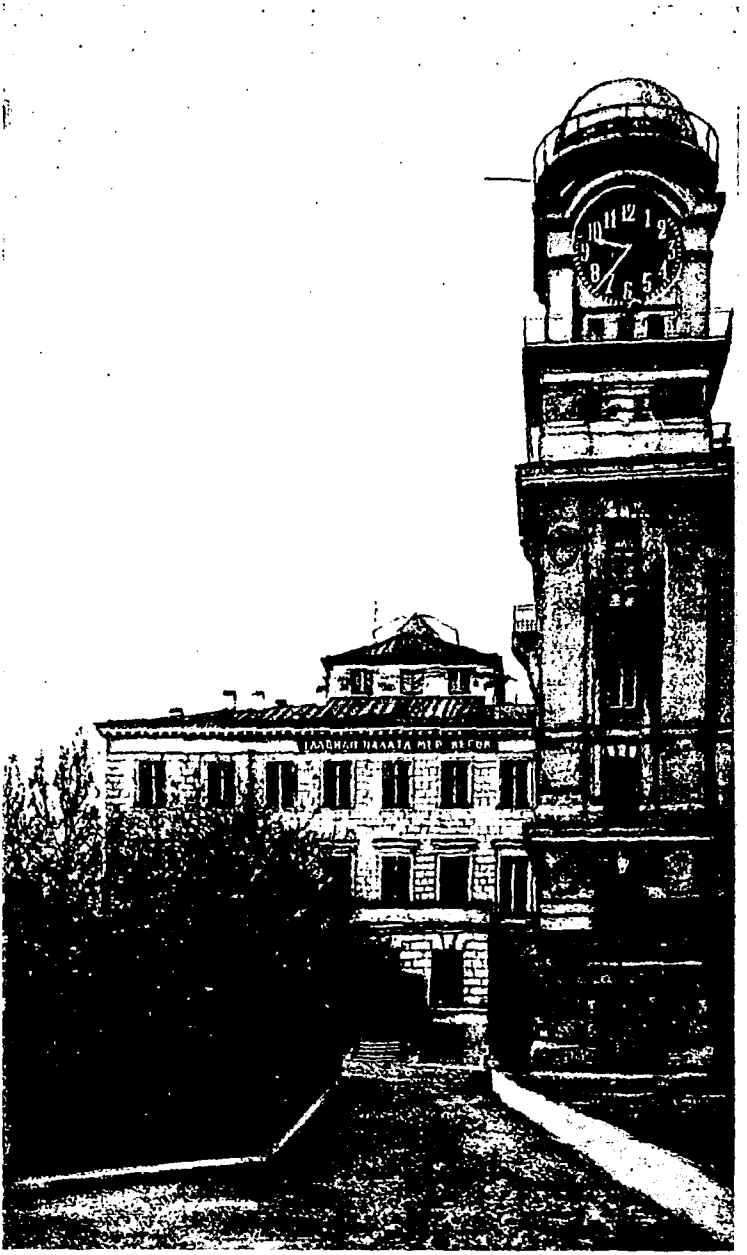
Для распространения сведений об исследованиях и работах, произведенных в Главной палате мер и весов, выпуски «Временника» будут, впредь до нового распоряжения, прилагаемы к журналу Русского физико-химического общества.

В первом выпуске сего издания прежде всего печатается отчет о большой работе, касающейся железной «сажени Комиссии 1833 г.». Работа эта произведена в прежнем Депо образцовых мер и весов бывшим хранителем мер и весов В. С. Глуховым и бывшим его помощником Ф. П. Завадским. Сообщение исследований, произведенных в 1884 г. над железною саженью «Комиссии 1833 г.», имеет тем большее значение, что эта сажень должна составить один из образцов, по которому будут выверены возобновляемые, по распоряжению правительства, прототипы русских мер длины, которые по указу Петра Великого согласованы с английскими мерами длины так, что 1 сажень, или 3 аршина, должна быть равна 7 англ. футам. Возобновляемые же прототипы аршина предначертано выполнить из материала (иридистой платины), тождественного, по составу и форме, с тем, какой послужил для приготовления международных метров, один из образцов коих хранится в Главной палате мер и весов, что даст возможность установить строгое отношение между возобновляемыми прототипами аршина и международным метром, как мерою длины, долженствующею считаться ныне наиболее прочно установленною. Таким образом, возобновляемые прототипы русских мер длины могут послужить не только для установления соотношения между нашими и международными мерами, но и для дальнейшего выяснения отношения метра к ярду, которое, как известно, ныне не может быть считаемо установленным с такою степенью точности (по крайней мере, до микрон или тысячных долей миллиметра; 1 микрон = 0.0000394 дюйма), до какой могут с уверенностью достигать современные сравнения мер длины.[1] Так как за последние десятилетия произошло возобнов-

---

* См. сноску* на стр. 51. [*Прим. ред.*].

[1] В Англии узаконено (1877), что метр (как нашел Кэтер) = 39.37079 англ. дюйма, а измерения Кларка дают отношение: 1 м = 39.36994 дюйма; Титмана: 1 м = 39.36980 дюйма. Разности эти достигают до 0.00099 дюйма, или по 25 микронов.



Здание Главной палаты мер и весов.

ление прототипов как во Франции, так и в Англии, и русские меры длины, издавна прочно установленные, тесно связаны с английскими, то при возобновлении русских прототипов необходимо принять во внимание как новые образцы английских мер, так и те образцы русских мер длины, которые хранятся в Главной палате мер и весов. Исследование В. С. Глухова, которое он желал видеть в печати,[1] касаясь одной из наиболее изученных старых мер, может служить, после надлежащих дополнений, пособием при предстоящей работе Палаты.

Другую основную часть работ, предстоящих Главной палате мер и весов, составляет окончательное установление соотношения между возобновляемыми прототипами русского фунта и возобновленными за последние десятилетия прототипами килограмма и английского торгового фунта. А так как существующий ныне прототип русского фунта сделан из платины, как и прототипы английского торгового (Avoirdupois) фунта,[2] а возобновляемые образцы русского фунта будут исполнены, как и международные килограммы, из иридистой платины, и так как с помощью таких прототипов должно установлять со всею ныне доступною точностью (до 0.00001 г) истинные веса латунных и других гирь, служащих образцами для проверки гирь, применяемых в практике, то для точности сравнений необходимо производить тщательнейшую поправку на вес воздуха, вытесняемого гирями. Вследствие сего и ввиду разноречий, поныне встречающихся в литературе предмета, по отношению к определению веса литра воздуха в нормальных условиях, вторую

---

[1] Но уже не мог корректировать перед кончиною, последовавшею 12 февраля 1894 г.

[2] В 1848 г. Миллер нашел, что этот фунт = 453.59265 г, а в 1884 г. сличение с возобновленным килограммом дало Брошу и Ченей величину 453.592428 г. Подобные различия, в связи с тем, что прототипы веса (или масс), несомненно, от употребления теряют в своем весе (так, в Англии в 1892 г. констатирована убыль веса прототипа Board of Trade на 0.00230 грана, или 0.149 мг по сличении с прототипом парламента, замурованным в 1852 г.), — заставляют не только иметь сверх употребляемых в дело прототипов еще и другие, сохраняемые без употребления, но и с бо́льшим вниманием относиться ко всяким сличениям, простирающимся до дробей миллиграмма. Ввиду сказанного, возобновляемые русские прототипы воспроизводятся в нескольких образцах, взаимное сличение коих само по себе составляет многосложную работу, предстоящую в ближайшее время Главной палате мер и весов, для чего ею приобретается несколько новых приборов, еще не имеющихся в Палате, например весы Рупрехта, из Вены, показывающие тысячные миллиграмма при нагрузке в 1 кг и применяемые в Международном парижском бюро мер и весов.

статью «Временника» составляет статья Д. Менделеева «О весе литра воздуха». В одном из дальнейших выпусков «Временника» должна явиться основанная на этом исследовании статья, касающаяся вообще до поправок взвешивания; она задержана лишь по той причине, что новейшие определения напряжения тяжести в С.-Петербурге, произведенные Пулковскою обсерваториею, еще не окончены по расчетам.

Для того же ряда задач, предстоящих Главной палате мер и весов, относящихся к установлению соотношения между русскими и иностранными мерами, служит третья статья «Временника», в которой описываются основные образцы мер длины и веса, доныне имеющиеся в Главной палате. Статья эта выполнена Ф. П. Завадским.

Что касается до исполнения Главною палатою остальных задач, указываемых Положением, необходимо заметить: 1) что обозрение выверки мер и весов, представляемых правительственными учреждениями и частными лицами, будет появляться лишь по накоплении достаточного материала и по установлении правил, до сего предмета касающихся; 2) что начатое в Главной палате изучение нескольких измерительных вопросов, касающихся промышленных и торговых отношений, будет публиковано во «Временнике» по мере окончания предпринятых или предположенных работ, в числе коих на первом плане должно поставить исследование пурки, или хлебных весов, производимое Ф. Ф. Селивановым; начало этой работы помещается в этой части «Временника»; 3) что в настоящее время преимущественную задачу Главной палаты мер и весов составляет, во-первых, устройство и установление как новых прототипов, так и приборов, необходимых для возможно точного сличения мер и весов, и, во-вторых, изучение, начатое А. И. Скиндером и С. И. Ламанским, того состояния, в котором находятся в местных проверочных учреждениях образцы, служащие для выверки торговых мер и весов. Отчет о том, что узнали инспекторы Палаты при первом приступе к изучению состояния указанного предмета в некоторых из местных русских и заграничных учреждений, помещается в этой же первой части «Временника». Главная палата считает возможным приступить к коренным мерам для снабжения местных русских проверительных учреждений новыми образцовыми мерами длины, веса и емкости не ранее, как после окончания возобновления прототипов и установления их законного отношения к международным (метрическим) мерам, имея особенно в виду как то, что Россия с самого основания Международ-

ной метрической комиссии принимала в оной участие, так и то, что метрические меры в самой Главной палате неизбежно должны быть ежечасно применяемы.

Отчет о всех работах, относящихся до возобновления прототипов и установления их отношения к международным метру и килограмму, будет помещен в начинаемом ныне издании. От 5/17 февраля Ф. И. Блумбах, посланный от Палаты в Лондон для того, чтобы следить за фабрикациею заказанных прототипов, извещает, что известная фирма Джонсон, Маттей и К°, выполнившая прототипы международных метрических мер, уже приготовила платиново-иридиевые стержни, назначенные для четырех прототипов возобновляемых русских мер длины. Одна из них предназначена служить для совместного нанесения нарезных мер в $^1/_2$ сажени, аршин, фут, метр, ярд и их подразделений, что должно содействовать возможности точного их взаимного сличения. Три остальные меры назначаются служить нарезными прототипами аршина; один из них назначается быть признанным главным прототипом и будет изъят из применений, т. е. будет сохраняться для особо исключительных сличений и проверок.

Статьи «Временника» будут подписаны именами авторов, хотя бы в излагаемом заключался совокупный труд нескольких лиц, участвовавших в данном исследовании, с тем, конечно, что имена всех участников будут в статьях упоминаемы. Это обусловливается научным характером, какой желательно придать «Временнику Главной палаты мер и весов».

Февраль 1894 г. *Д. Менделеев.*

☐ Предисловие к Временнику и его веде-
1894 ние первое время совершенно лежали
на мне.

269 О весе литра воздуха. Временни[к] Гл[авной] П[алаты], часть 1, стр. 57, 1894. 1033/4

Временник Главной палаты мер и весов, ч. 1, 1894, стр. 57—88.

О ВЕСЕ ЛИТРА ВОЗДУХА

Так как при метрологических сличениях веса гирь обыкновенно[1] необходимо вводить поправку на вес вытесняемого воздуха, то, сверх переменных (уд. веса гирь, напряжения тяжести, давления, температуры и влажности воздуха) величин, определяемых для данного места и случая, необходимо знать вес литра воздуха при нормальных условиях, т. е. при 0°, при 760 мм давления, при определенном напряжении тяжести (например 45° с. ш.), при полной сухости и при удалении углекислого газа. Величину эту мы будем означать e_0. Ее значение определяется обыкновенно или по выводу Реньо

Для Парижа $e_0 = 1.293187$,
» широты 45° $e_0 = 1.292697$,

или сюда вводятся поправки, более или менее изменяющие e_0; так, например, Марек (Travaux et Mémoires de Bureau Intern., t. I, 1881, D. 27) принимает для Парижа 1.293204, как вывел Lasch из данных Реньо,[2] откуда при 45° с. ш. $e_0 = 1.29272$, а другие принимают для 45° с. ш. $e_0 = 1.2930$ и т. д. Различия эти не имеют существенного значения для обычных взвешиваний, но при работах, подобных производимым в Главной палате, особенно при установке прототипов веса, когда взвешивания и их поправки должны быть доведены до всей возможной точности, во-первых, необходимо остановиться на каком-либо числе окончательно, чтобы можно было со временем, когда получатся более несомненные числа, сделать надлежащие исправления, во-вторых, полезно выбрать число, наиболее вероятное из всех, ныне применяемых. Для этой цели, в предлагаемой статье я раз-

[1] Вследствие неодинаковости удельного веса материала сравниваемых гирь.

[2] Кольрауш (Pogg. Ann., Bd. 98, стр. 178) выставил на вид, что вместо числа Lasch должно возвратиться к прежнему числу Реньо.

бираю и вновь перечисляю данные не только Реньо, но и позднейших наблюдателей: Йолли в Мюнхене, Ледюка в Париже и лорда Релея в Лондоне, тем более, что еще в 1875 г. (Менделеев. Об упругости газов, I, стр. 62) новое перечисление данных Реньо указало мне необходимость ввести некоторые поправки[1] в данные Реньо, а затем этот же предмет обрабатывался многими другими исследователями, причем, однако, некоторые стороны предмета упускались из вида. Обсуждая и вновь перечисляя все лучшие из существующих данных, я надеюсь содействовать достижению не только прямой цели Главной палаты мер и весов, но и общему уяснению предмета, представляющего доныне некоторые пункты сомнительности.

Определения Реньо, описанные (1847) в его классическом сочинении «Relations des experiences etc.» (t. I, стр. 136), столь общеизвестны в отношении к способам наблюдений, что я считаю излишним останавливаться над этой стороной дела и прямо перехожу, как при всех других исследованиях, к наблюдениям, относящимся до веса воды, вмещающейся при 0° в шар, назначаемый для взвешивания воздуха. Таких определений сделано было три, но Реньо берет только два, потому что при третьем шар, наполненный водою, оставался во льду только 6 часов (а в другие разы — 13 и 18 часов), и можно было думать, что вода не успела принять температуру 0°, подтверждением чему служит то обстоятельство, что вес вмещающейся воды вышел в действительности (на 2 дг) больше, чем при двух других определениях. Данные этих двух взвешиваний суть:

Вес (в воздухе) шара + вода 0°, в граммах	Температура воздуха	Давление, в миллиметрах при 0°
11126.05	6.0°	761.77
11126.10	6.5	761.58

Считая в воздухе весов содержание 0.04% углекислого газа, полагая вес литра такого сухого воздуха при 0° и 760 мм = 1.2936 (Париж) и принимая влажность = 70% (о чем упоминает Реньо на стр. 154), получим, что вес литра воздуха весов при указанных взвешиваниях был = 1.266 и 1.263. Объем стенок стеклянного шара с металлическим

[1] Но я не ввел тогда некоторых других поправок, ныне вводимых.

краном на мастике (вес его см. далее), хотя и не известен, можно с достаточною степенью точности[1] принять равным 0.440 л. Объем входящей в шар воды, как увидим далее, близок к 9.880 л. Объем гирь, вероятно, имевших уд. вес около 8.4, близок к 1.325 л. Следовательно, объем шара с водою превосходил объем гирь на: 0.440 + 9.880 — 1.325, или на 8.995 л, а потому истинный вес шара + вода в 2 взвешиваниях был

$$11126.05 + 8.995 \cdot 1.266 = 11137.43 \text{ г},$$
$$11126.10 + 8.995 \cdot 1.263 = 11137.46 \text{ г}.$$

Истинный средний вес шара + вода $0° = 11137.45$ г.

Вес самого шара Реньо определил один раз и нашел его $= 1258.55$ г, когда $t = 4.2°$ и давление $(0°) = 757.89$ мм, т. е. когда вес литра воздуха весов был $= 1.2665$, объем гирь $= 0.150$ л, объем стенок шара 0.440 л, а потому кажущийся вес шара должен быть увеличен на $(0.440 - 0.150)\ 1.2665 = 0.37$ г для получения истинного веса, и потому истинный вес воды $0° = 11137.45 - 1258.92$[2] $= 9878.53$ г. А так как литр воды при 0° весит, судя по совокупности существующих сведений (см.: Mendeleeff, Philos. Magaz., 182, стр. 131), 999.873 г, то объем шара при $0° = \frac{9878.53}{999.873} = 9.87979$ л.

Сверх двух указанных определений веса воды, наполняющей шар при 0°, Реньо произвел еще два определения при 4°:

Вес шара + вода 4° в воздухе	Температура воздуха	Давление барометр[ическое] (0°)	Вычисленный истинный вес в граммах
11128.20	7.0°	766.56	11139.61
11128.07	5.5	766.04	11139.54

Числа последнего столбца вычислены мною совершенно точно так же, как предшествующие, причем вес литра воз-

[1] Если при этом и сделается ошибка, то большая ее часть погасится в результате, потому что для его получения вес шара будет вычтен из веса шара с водою, и, следовательно, величина объема стенок шара войдет и с плюсом и с минусом.

[2] В 1875 г., перечисляя определения Реньо веса литра воздуха (Об упругости газов, т. I, стр. 64), я сделал ошибку счета при определении объема шара, а именно, вычитая 1258.917 из 11137.745, принял 9879.83 — вместо 9878.83. Это повлекло за собою необходимость нового перечисления, которое сделано строже и здесь помещено со введением некоторых новых поправок.

духа в весах разочтен 1.269 и 1.275. Вычитая из среднего истинного веса (11139.57 г) истинный вес шара (1258.92 г), получим истинный вес воды в 4°, наполняющей шар при 4° = 9880.65 г. Следовательно, емкость шара при 4° = 9.88065 л. Коэффициент кубического расширения того хрустального стекла, из которого был изготовлен шар, Реньо определил ранее для другого (меньшего) шара и нашел равным 0.0000235, а потому из полученных чисел должно заключить, что емкость шара при $0° = \frac{9.88065}{1 + 0.0000235 \cdot 4} = 9.87972$. Согласие этого числа с вышеполученным не оставляет желать ничего большего. А потому должно принять емкость шара

$$V = 9.87976 \text{ л}^1$$

с погрешностью едва ли более ± 0.00005 литра. Ни один из позднейших и предшествующих исследователей, определявших вес литра воздуха, не сделал столь большого числа определений объема и не достиг такой степени точности, как Реньо, а потому исследования его остаются и поныне образцовыми.

Для определения веса воздуха, вмещающегося в шар при 0°, Реньо определял четыре величины: H_0, h_0, p и P, которые имели следующие значения:

H_0 — давление, приведенное к 0°, в миллиметрах, сухого[2] воздуха в момент замыкания крана при шаре, окруженном льдом.

h_0 — давление (тоже отнесенное к 0°) воздуха, оставшегося в шаре после выкачивания (при 0°).

p — вес гирь, которые должно было приложить к шару при его взвешивании после наполнения воздухом при 0°

---

[1] Реньо принимал емкость своего шара = 9.881086 л. Разность, отвечающая 1.33 г воды, зависит преимущественно от того, что он не исправлял взвешиваний в отношении к весу воздуха, вытесняемого гирями. Действительно, при весе литра воздуха весов около 1.26 поправка на вес гирь должна была бы быть около $-\frac{9.88 \cdot 1.26}{8.4} = -1.48$ г, если бы вес воздуха во всех взвешиваниях был постоянным. Разность эта не должна оказывать большого влияния на вес литра воздуха, потому что бо́льшая ее часть компенсируется тем, что и при взвешивании воздуха поправка этого рода не была сделана. Притом, данные Реньо столь подробно описаны, что в них возможно всегда сделать почти все необходимые поправки с большею точностью, чем при перечислении данных большинства других, позднейших исследователей.

[2] И лишенного углекислоты.

и давлении H_0, когда на другой чашке весов был положен добавочный запаянный шар, имеющий тот же наружный объем, как и изучаемый шар.

P — вес гирь, которые, при вышеуказанных условиях, должно было приложить к шару, взвешивая его с воздухом, имеющем при 0° давление h_0.

Таких определений сделано 9, а именно они дали:

	H_0	h_0	p	P	Вывод Реньо для веса воздуха при 0° и 760 мм
	миллиметры		граммы		
I	761.19	8.43	1.4870	14.1410	12.7744
II	754.66	7.00	1.5830	14.1555	12.7800
III	758.61	4.62	1.5160	14.1960	12.7809
IV	746.10	2.93	1.7180	14.2115	12.7764
V	747.23	1.97	1.7005	14.2320	12.7795
VI	747.21	7.56	1.6990	14.1345	12.7775
VII	753.76	5.97	1.4375	14.0130	12.7808
VIII	774.46	5.58	1.0663	13.9915	12.7759
IX	774.41	5.58	1.0640	13.9915	12.7790
Среднее..	757.514	5.515	1.4746	14.1185	12.7781

Числа последнего столбца разочтены Реньо по формуле $\frac{P-p}{H_0-h_0}$ 760, но при этом расчете сделаны некоторые ошибки, например, вместо 1-го вывода (12.7744) следует 12.7757.[1] Однако этот род ошибок счета, почти неизбежный при обширных исследованиях, подобных тем, какие производил Реньо, мало влияет на общий результат[2] и легко поправим. Но, кроме того, есть три других причины, по которым вывод Реньо о весе воздуха, наполняющего шар при 0° и 760 мм, нельзя считать окончательным, признавая всю высокую ценность полученных опытных данных. А именно: 1) веса гирь не исправлены на потерю веса вытесняемого воздуха, а если

[1] В других данных можно подозревать опечатку, но здесь вывод напечатан двукратно и разности $H-h$ и $P-p$ также указаны, а потому несомненно, что произошла ошибка счета.

[2] Это видно, например, из того, что, взяв средние $P-p$ и $H-h$, получаем 12.7784 г, почти тождественное с выведенным Реньо (12.7781 г).

$P - p = 12.6439$, то, считая средний уд. вес гирь $= 8.4$, требуется поправка, близкая к -0.0019 г, соответствующая около 1.5 см^3 воздуха. 2) Объем взвешиваемого шара во всех случаях считается равным объему добавочного (запаянного) шара, положенного на другую чашку весов, что составляет важную особенность приема Реньо, но этого равенства объемов при взвешиваниях быть не могло, если наружные объемы шаров были одинаковы при их предварительном изучении, когда в шаре с краном был заключен воздух, имеющий упругость, одинаковую с наружным воздухом. Во время взвешивания шара с воздухом, запертым при 0° и при атмосферном давлении, температура запертого воздуха поднималась, а потому давление внутри увеличивалось и шар увеличивал свой объем, а при взвещивании, производимом с воздухом, имеющим малую упругость h_0, объем взвешиваемого шара уменьшался, т. е. в обоих взвешиваниях объем шара с краном не равнялся с объемом добавочного шара, что заставляет ввести поправку на изменение объема шара. 3) В расчете Реньо принято, что воздух следует в совершенстве закону Бойля-Мариотта при переходе как от h_0 к H_0, так и от $H_0 - h_0$ к 760 мм, но в действительности этого нет, а потому и в этом отношении необходимо, по крайней мере, рассмотреть величину погрешности, зависящей от допущения Мариоттова закона.

Таким образом, прежде чем получать должный вывод из вышеприведенных определений Реньо, необходимо рассмотреть три указанных обстоятельства и, по возможности, ввести соответственные им поправки. К сожалению, Реньо на сей раз не привел никаких данных для определения веса литра воздуха в весах, и приходится принять некоторый средний вес литра воздуха. Так как давление, судя по данным для H_0, было близко к нормальному, то вес литра воздуха зависел, главным образом, от температуры лаборатории, и я полагаю, что мы сделаем малую погрешность, допустив, что она была около 10°, потому что я сам бывал еще в лаборатории Реньо и видел, что большинство работ производилось не в летний семестр, а весною, осенью и зимою, когда парижские лаборатории имеют температуру весьма невысокую. Сделав такое допущение, мы принуждены принять вес литра воздуха весов, близким к 1.25. Но если бы он был даже равен 1.20, то и тогда, вследствие малой величины гирь и сжатий шара (они не превосходят 0.0015 л), в поправке не будет большей погрешности, чем та, которая свойственна весам, примененным в дело, потому что они

ясно показывали, очевидно, лишь до $^1/_2$ мг, а разность в весе литра воздуха от 1.20 до 1.25 влечет за собою разность поправки лишь в сотых долях миллиграмма.

Поправку на вес воздуха, вытесненного гирями, вводим, допустив, что целые граммы имели удельный вес 8.4, а подразделения (из платины) 20.5. Так, например, для 14.1410 г поправка найдется, разделив 14 на 8.4 и 0.1410 на 20.5, сложив частные (т. е. объем гирь в тысячных литра), умножив сумму на 0.00125 и вычитая произведение из наблюденного веса, т. е. $14.1410 - (1.667 + 0.007)\,0.00125 = 14.1389$. Так получены исправленные веса P_1 и p_1 для всех 9 определений:

	P_1	p_1		P_1	p_1		P_1	p_1
I	14.1389	1.4868	IV	14.2094	1.7178	VII	14.0109	1.4373
II	14.1534	1.5828	V	14.2299	1.7003	VIII	13.9895	1.0662
III	14.1939	1.5158	VI	14.1324	1.6988	IX	13.9895	1.0639

Для наглядности дальнейших соображений распределяем все данные на три группы, по величине разности $P_1 - p_1$, и находим средние для каждой группы:

	$P_1 - p_1$	H_0	h_0	$H_0 - h_0$
A) VI	12.4336	747.21	7.56	739.65
IV	12.4916	746.10	2.93	743.17
V	12.5296	747.23	1.97	745.26
Среднее . .	12.4849	746.847	4.153	742.69
B) II	12.5706	754.66	7.00	747.66
VII	12.5736	753.76	5.97	747.79
I	12.6521	761.19	8.43	752.76
Среднее . .	12.5988	756.537	7.133	749.40

	P_1-p_1	H_0	h_0	H_0-h_0
C) III	12.6781	758.61	4.62'	753.99
VIII	12.9233	774.46	5.58	768.88
IX	12.9256	774.41	5.58	768.83
Среднее . .	12.8423	769.160	5.260	763.90

По формуле, применяемой Реньо, истинный вес воздуха при 0° и 760 мм $= \frac{P_1 - p_1}{H_0 - h_0}$ 760. Находим значение этой величины из средних:

A) — 12.7759 г	Разность	+0.00063 г
Б) — 12.7770 »	»	—0.00047 »
C) — 12.7767 »	»	—0.00017 »
Общее среднее 12.77653 г	»	± 0.00042 г

Разности результатов по группам от общего среднего столь малы и так близки к пределу чувствительности весов (до ± 0.0005 г), и вообще в числах замечается такая стройность, что они могут служить образцом для определений подобного рода. Тем более есть основание глубже вникнуть в подробности полученных от Реньо данных, и я при этом считаю необходимым прежде всего обратить внимание на то, что для групп A и B значение $H_0 - h_0$ менее 760 мм, а для группы C более 760 мм, а потому, не прибегая к расчету по формуле $\frac{P_1 - p_1}{H_0 - h_0}$ 760, можно эмпирически найти, какой вес отвечает 760 мм, сопоставляя лишь средние по группам значения $P_1 - p_1$ и $H_0 - h_0$. Они, как само собою понятно (из того, что имеется три данных опыта и три постоянных в уравнении), могут быть вполне точно выражены уравнением

$$P_1 - p_1 = a + b(H_0 - h_0 - 760) + c(H_0 - h_0 - 760)^2.$$

Подставляя средние для групп значения $P_1 - p_1$ и $H_0 - h_0$, получаем:

$$12.4849 = a - b\,17.31 + c\,299.64,$$
$$12.5988 = a - b\,10.60 + c\,112.36,$$
$$12.8423 = a + b\;\;3.90 + c\;\;15.21.$$

Откуда находим:

$$a = 12.77713,$$
$$b = 0.016733,$$
$$c = -0.0000085.$$

То обстоятельство, что этим путем получается вес воздуха больший (12.7771), чем вычисляемый по формуле $\frac{P_1 - p_1}{H_0 - h_0}$ 760 (от 12.7759 до 12.7770), как бы указывает на отступления от закона Бойля-Мариотта, но прежде чем рассматривать возможность в сем отношении пользоваться числами Реньо, считаю необходимым остановиться над поправкой, определяемой переменами во внешнем объеме шара с краном, зависящими от перемен внутреннего давления.

Если дан шар с внутренним радиусом r, а объемом V и с внешним радиусом R, сделанный из материала, которого кубическая сжимаемость k, то при перевесе внешнего давления на h, емкость шара изменится на

$$-\frac{9}{4} k \frac{R^3}{R^3 - r^3} Vh.$$

Если r велик, а толщина стенок e (или разность $R - r$) мала, то очевидно, что изменение объема можно выразить чрез

$$-\frac{3}{4} k \frac{r + 3e}{e} hV \text{ или даже } -\frac{3}{4} k \frac{r}{e} hV.$$

Величина k, как известно по теории упругости, определяется коэффициентом упругости E и отношением μ, поперечного сжатия к удлинению при растяжении, а именно: $k = \frac{3 - 6\mu}{E}$. Для стекла E близко 700 000 кг на квадратный сантиметр (Вертгейм), а μ к 0.25 (Корню), откуда $k = 0.0000021$. По непосредственным определениям Реньо, для стекла $k = 0.0000024$, а потому принимаем $k = 0.00000225$. Поэтому для стеклянного шара, имеющего внутренний радиус r см, толщину стенок e см, объем $V = \frac{4}{3} \pi r^3 = 4.19 r^3$, изменение объема при разности внешнего и внутреннего давления на 1 атмосферу будет близко к $0.0000017 \frac{r}{e} V$, или к $0.000007 \frac{r^4}{e}$, т. е. быстро возрастает с диаметром шара

и уменьшается пропорционально увеличению толщины стенок шара. Для шара Реньо $V = 9880$ см^3, $r = 13.27$ см, а потому на 1 атмосферу изменение объема около $\frac{0.223}{e}$, следовательно, если e около 1 мм, — изменение объема $=$ 2.2 см^3 (но такой шар не выдержит выкачивания); 2 мм ($=0.2$ см), изменение объема $= 1.1$ см^3, если же около 3 мм, то сжатие $= 0.74$ см^3.[1] Судя по тому, что шар Реньо выдерживал многократное выкачивание воздуха, должно заключить, что толщина его стенок была не менее $1^1/_2$ мм, т. е. уменьшение всего объема шара при произведении внутри пустоты было менее 2 см^3. Если даже допустить такое (как максимальное) уменьшение объема при выкачивании из шара воздуха, то, при взвешивании пустого шара (т. е. при определении добавочного груза P), объем взвешиваемого шара не равнялся уже объему добавочного (запаянного) шара, лежащего на другой чашке весов, а потому к весу P должно прибавить всю разность веса вытесняемого шарами воздуха, а именно не более как $2 \cdot 0.00125$ или около 0.0025 г, вероятно же поправка эта менее.

Необходимость введения в расчет определений Реньо рассматриваемой поправки указал в 1888 г. лорд Релей (см. далее); сперва ее считали значительною, а Крафтс (J. M. Crafts, Comptes Rendus, 1888, t. CVI, стр. 1662) произвел с шаром, подобным реньовскому и сделанным в одно с ним время, особое определение, на основании которого найденный Реньо вес литра воздуха (1.293187) Крафтс считает равным (l. c., стр. 1664) 1.29349, т. е. вводит на литр поправку $+0.00030$. А так как шар Реньо имел объем 9.88 л, то на вес всего воздуха, вмещающегося в шаре, Крафтс считает поправку 0.00296 г, отвечающую изменению объема на $\frac{0.00296}{0.0012}$ (если считать, что Крафтс принял вес кубического сантиметра воздуха весов $= 0.0012$ г) или на 2.47 см^3. В общих чертах это согласуется с вышеприведенными соображениями, заставляя, однако, полагать, что толщина стенок шара Реньо была менее 1 мм. Но, во-первых, при столь малой толщине стенок шары около 10 л емкостью легко бьются при выкачи-

[1] Так как шар Реньо (с металлической оправою) весил около 1259 г (стр. 59), то вес стекла, вероятно, был около 1000 г. Поверхность шара, радиус которого $= 13.3$ см, около 2223 см^2, и если толщина стенок около 2 мм, а плотность стекла около 2.8, то вес был бы около 1245 г. Поэтому должно полагать, что толщина стенок шара была около $1^1/_2$ мм. Тогда сжатие около 1.7 см^3. Далее, из опыта Крафтса мы выводим 1.9 см^3.

вании воздуха, и мало вероятности, чтобы шар Реньо имел столь малую толщину, а во-вторых, в мемуаре Крафтса есть указание на то, что опыт дал ему меньшее число сжимаемости шара, чем разочтенное выше. А именно Крафтс пишет (l. c., стр. 1663), что он взял шар, сходный с реньовским, снабженный тонкою трубкою (tige étroite) и краном, емкостью в 10.022 л: «Sur la même balance de Deleuil qui a servi aux expériences de Regnault on a déterminé le changement de poids du ballon rempli d'eaux et immergé dans de l'eau, quand on vide la petite quantité d'air laissée dans le tige pour diminuer de 1 atmosphère la pression intérieure et qu'on ouvre ensuite le robinet. Ce changement correspond à une contraction de 0.000247 du volume par atmosphère».*

Мне кажется, что опыт поставлен был так: сперва определен был вес пустого шара, потом его наполнили водою, держа в ванне при определенной температуре, выкачивали воздух и после выкачивания заперли кран и взвесили в воздухе, а затем, погрузив вновь в ванну (т. е. при начальной температуре), открыли кран и опять взвесили в воздухе. Надо думать затем, что разность двух последних взвешиваний была равна или близка к $10022 \times 0.000247 = 2.475$ г. Если определение производилось именно так или по способу, сходному с указанным, то полученная разность взвешиваний определялась не одним изменением емкости шара от разности давлений, но и сжимаемостью воды. При 0° 1 объем воды от 1-атмосферного давления сжимается на 0.000050 объема, при 30° — на 0.000043. Если принять сжимаемость 0.000048, то 10022 см^3 воды после открытия крана, когда внутреннее давление увеличилось на 1 атмосферу, должны были сжаться около на 0.481 см^3 или грамма, а потому наблюденная разность веса 2.475 г состоит из суммы двух величин: 0.481 + 1.994 г, и первая определяется сжимаемостью воды, вторая же изменением емкости шара при перемене давления. Эта величина сжимаемости сосуда (1.994 см^3) относится к шару в 10.022 л, а для шара Реньо в 9.880 л должно принять изменение объема при перемене давления на 1 атмосферу равным 1.965 см^3. Число это мне кажется более вероятным, чем принятое Крафтсом, а потому я останавливаюсь на нем для

* Перевод: «На тех же весах Делей, которые служили в опытах Реньо, было определено изменение веса шара, наполненного водой и погруженного в воду, когда откачивают небольшое количество воздуха, оставленного в трубке, чтобы уменьшить на 1 атмосферу внутреннее давление, и затем закрывают кран. Это изменение соответствует сокращению объема атмосферой на 0.000247». [*Прим. ред.*].

введения поправки, относящейся к сжимаемости сосуда или к разности объемов шара при различных взвешиваниях. Оно показывает, что при разности внешнего давления от внутреннего на n мм, объем шара Реньо изменяется на

$$n\,\frac{1.965}{760},\ \text{или на}\ n0.002585\ \text{см}^3.$$

Очевидно, что n = внешнему атмосферному давлению[1] без внутреннего давления q в момент взвешивания. А так как вес кубического сантиметра воздуха весов должно принять при взвешиваниях Реньо (см. ранее) около 0.00125 г, то поправка в весе, прибавляемом к шару, при взвешиваниях, произведенных при внутреннем давлении q и наружном 757.5 мм (среднее внешнее давление в определениях Реньо), будет

$$+(757.5-q)0.00000323\ \text{г.}^2$$

Что касается величины q (внутреннее давление в шаре в момент взвешивания), то она равна давлению h_0 или H_0, или вообще h, в момент запирания крана при 0°, умноженному на $1+\alpha t$, где t есть температура шара во время взвешивания. Она не дана в мемуаре Реньо, а потому ее приходится принять условно, и я полагаю, что по причине, ранее объясненной, ее следует принять около 10°. Тогда $1+\alpha t = 1.0367$, и если давление в шаре при 0° означим h, получаем поправку

$$+0.002447-0.00000335\,h.$$

Очевидно, что если шар при 0° заперт при давлении меньшем, чем 730.5 мм, — поправка в отношении к грузу, прибавляемому к шару, выйдет положительною, а если более 730.5 (например при взвешивании шара, когда $H_0 = 757.5$), то поправка веса отрицательна, потому что тогда внутри взвешиваемого шара упругость была более средней атмосферной, и шар увеличивал свой объем, т. е. вытеснял воздуха более, чем добавочный шар. Для введения более точной поправки следовало бы знать единовременно с пере-

---

[1] В сущности следовало бы не только знать каждый раз давление воздуха в весах, но и то давление, при котором сравнены объемы обоих шаров и добавочный шар запаян.

[2] Число 0.00000323 есть произведение 0.002585 на 0.00125 и отвечает изменению веса всего шара в воздухе при перемене давления на 1 мм.

меною объема взвешиваемого шара те изменения, какие претерпевал объем добавочного шара, но элементов для этого расчета нет, потому что неизвестно, ни при каких условиях t и h был запаян добавочный шар, ни каковы были температура и давление при каждом взвешивании. Поэтому приходится, как и для шара с краном, признавать, что внешнее давление во всех случаях (при запаивании и взвешиваниях) было среднее (757.5) и температура 10°. Но допущение это не может влечь за собою погрешности большей, чем в 0.0002 г, а такой точности взвешивания, очевидно, не имели.

Остановившись на указанной поправке, я ввожу ее во все взвешивания Реньо, чтобы перейти затем к расчету поправки, относящейся к отступлениям от Бойля-Мариоттова закона. Сам Реньо видел эти отступления, произвел для убедительности особые определения, но не решился сделать поправку, сюда относящуюся, вследствие малой величины замечаемых отступлений (Relations des expériences etc., t. I, стр. 139).

Если я пробую искать указанную поправку, то делаю это лишь потому, что много занимался именно определениями отступлений от Бойля-Мариоттова закона и вижу случай воспользоваться классическими исследованиями Реньо для того, чтобы, во-первых, вновь рассмотреть весовой способ определения отступлений при давлениях между 760 и 5 мм, во-вторых же, чтобы вновь обратить должное внимание других исследователей на этот предмет, имеющий значение как в термодинамике газов, так и в понимании многих космических вопросов, например, о грани атмосферы, о соотношении между световым (междупланетным) эфиром и разреженными газами и т. п.

Для поверки Бойля-Мариоттова закона путем прямого взвешивания своего шара с более или менее разреженным воздухом, кроме вышеисчисленных определений, Реньо сделал три добавочных определения, запирая кран шара (погруженного в ванну с измельченным льдом) при упругостях h_1 около 300 мм и определяя добавочный груз p_1, который следовало прибавить к шару для уравновешивания с добавочным шаром.

1) При IV определении, когда давление h_1 (при 0°) было 306.03 мм, пришлось добавить $p_1 = 9.122$ г.

2) При V определении: $h_1 = 314.32$ мм, $p_1 = 8.981$ г.

3) При IX определении: $h_1 = 363.80$ мм, $p_1 = 7.969$ г.

Веса эти p_1 прежде всего поправлены на вес вытесненного гирями воздуха, как и в других определениях; полу-

чается: 9.1207, 8.9797 и 7.9679, а затем, вместе со всеми прочими данными, вводится вышенайденная поправка $(+0.002447 - 0.03000335\,h)$ на изменение объема шара; таким образом получается следующая совокупность исправленных основных данных Реньо:

	Давление при 0°, в миллиметрах, h	Исправленный вес добавленных к шару гирь, в граммах, p	Отсюда (по способу, далее указанному) рассчитывается			
			добавочный груз, когда $h=0$	истинный вес воздуха при 0°, когда объем = 9.87976 л, а давление		
				6 мм	320 мм	760 мм
			граммы			
IV	2.93	14.2118[1]	14.2610	0.1007	5.3743	12.7775[2]
	306.03	9.1221				
	746.10	1.7177				
V	1.97	14.2323	14.2654	0.1009	5.3804	12.7801
	314.32	8.9811				
	747.23	1.7002				
IX	5.58	13.9919	14.0857	0.1009	5.3807[3]	12.7796
	363.80	7.9691				
	774.41	1.0638				
		Среднее из трех		0.1008	5.3785	12.7791

[1] Напомню, что число, данное Реньо, = 14.2115, поправка на вес вытесняемого гирею воздуха = −0.0021, а поправка на сжатие шара = +0.0024, что и дает $p = 14.2118$. Разность веса при наименьшем и наибольшем давлениях $(P - p)$, равнявшаяся 12.4916, теперь = 12.4941 г.

[2] Заметим, что, рассчитывая из исправленных данных для $h = 2.93$ и $H = 746.10$ вес при 760 мм, по формуле Реньо, получили бы вес 12.7770; разность от всех вводимых поправок так мала, что совпадает с погрешностями взвешиваний.

[3] Хорошее согласие в весе воздуха при 320 мм, полученное в V и IX определениях, дает повод думать, что в IV определении для этого давления вкралась погрешность. А так как в этом определении отступления от Мариоттова закона более, чем в двух других, то нельзя надеяться на основании приводимых определений Реньо получить понятие об уклонениях закона. Если бы, например, в IX определении для 6, 320 и 760 мм получились веса 0.1009, 5.3808 и 12.7794, то закон был бы точен, а эти веса отличаются от найденных только на 0.1 и 0.2 мг, т. е. на величины, прямо при взвешиваниях (до 0.5 мг) не наблюдавшиеся.

				Коэффициент пропорциональности k	Вес P_1 при 760 мм по k	Вес P при 760 мм по среднему (см. стр. 74)
VI	7.56	14.1348	14.2618	0.016813	12.7781	12.7782
	747.21	1.6987				
II	7.00	14.1558	14.2734	0.016817	12.7805	12.7805
	754.66	1.5827				
VII	5.97	14.0133	14.1136	0.016817	12.7813	12.7814
	753.76	1.4372				
		Среднее из трех		0.016816	12.7800	12.7800
I	8.43	14.1413	14.2829	0.016811	12.7762	12.7862
	761.19	1.4867				
III	4.62	14.1963	14.2739	0.016818	12.7816	12.7820
	758.61	1.5157				
VIII	5.58	13.9919	14.0857	0.016811	12.7765	12.7764
	774.46	1.0661				
		Среднее из трех		0.016813	12.7781[1]	12.7782

Определение по предшествующим данным отступлений от закона Бойля-Мариотта было бы чрезвычайно простым, если бы был известен добавочный груз p_0, который должно

[1] Значение k, P_1 и P для IV, V и IX определений, получаемые тем способом, который применен для остальных определений, суть:

IV	$k = 0.016812$	$P_1 = 12.7770$	$P = 12.7771$
V	0.016816	12.7799	12.7800
IX	0.016815	12.7796	12.7795
Среднее из трех . . .	0.016815	12.7788	12.7789
Среднее из девяти . . .	$k = 0.016815$	$P_1 = 12.7790$	$P = 12.7790$

приложить к шару, когда в нем нет воздуха, т. е. $h=0$, потому что тогда прямо находился бы вес воздуха P при данном давлении и, находя частное $\frac{h}{P}$, которое по закону постоянно, можно было бы прямо определять меру отступления от закона. Но для IV, V и IX определений эту величину p_0 можно вычислить по параболе, полагая, что величины добавочных грузов p параболически изменяются с изменением давлений h, т. е.

$$p=p_0+Ah+Bh^2.$$

В виде примера приведу весь расчет для IV определения. Решая три уравнения:

$$14.2118=p_0+A\ \ 2.93+B(2.93)^2,$$
$$9.1221=p_0+A\,306.03+B(306.03)^2,$$
$$1.7177=p_0+A\,746.10+B(746.10)^2,$$

находим, что

$$p_0=\ \ 14.26096,$$
$$A=-\ 0.01677835,$$
$$B=-\ 0.00000004487.$$

Если же при $h=0$ следует прибавить для равновесия груз $p_0=14.26096$ г, то вес воздуха, наполняющего шар, при $h=2.93$ равен $14.26096-14.2118=0.04916$ г; но так как при 0°, когда запирался кран, объем шара, судя по изложенному ранее, был $9879.76-(757.5-2.9)\,0.002585=9877.81$, то полученный вес 0.04916 должно умножить на $\frac{9879.76}{9877.81}$, чтобы получить вес газа, который вместился бы в шар, если бы его объем все время оставался при 0° равным 9879.76, как при давлении, близком к нормальному. Это дает вес 0.04917. Этот род поправки можно ввести вообще, если известны постоянные в уравнении $p=p_0+Ah+Bh^2$, потому что при h добавочный груз $=p$, вес воздуха $=p_0-p=-Ah-Bh^2$, а объем в кубических сантиметрах $=9879.76-(757.5-h)\,0.002585=9877.80+0.002585\,h$. Поэтому, если вес воздуха при всех давлениях отнести к объему 9879.76 см³, то $-Ah-Bh^2$ следует умножить на $\frac{9879.76}{9877.80+0.002585\,h}$, или при $h=6$ мм — на 1.000197, при $h=320$ мм — на 1.000114, а при 760 мм — на 1.000002. Таким образом, очевидно, что

рассматриваемая поправка ничтожно мала и впадает в пределы погрешностей опыта. В частном случае IV определения, по вышенайденным значениям A и B находим, что вес воздуха, входящего в шар:

при	$h=$	6 мм,	без поправок	$=$	0.10067 г,	с поправкою	$=$	0.10069 г
»	»	$=320$ »	»	»	$=$ 5.37364 »	»	»	$=$ 5.37426 »
»	»	$=760$ »	»	»	$=12.77742$ »	»	»	$=12.77745$ »

Из рассмотренного примера видно, как вычислены те числа, которые приведены в четырех последних столбцах предшествующей таблицы для IV, V и IX[1] определений, где даны наблюдения при трех давлениях. Определения эти особенно хорошо согласуются для определения веса воздуха при 6 мм давления, а именно дают, что тогда в шар входит 0.1008 г воздуха 0°. Это дает возможность определить p_0 во всех остальных определениях при помощи наблюдений, произведенных при давлениях, близких к 6 мм. Если дано такое наблюдение при h_1, то вес входящего воздуха должно принять $=\frac{0.10083}{1.000197}\frac{h_1}{6}$, или h_1 0.016802. Например, в VI определении $h_1=7.56$ мм, а потому вес воздуха, наполняющего шар, $=0.1270$, откуда ($p=14.1348$) следует, что при $h=0$ добавочный груз $=14.2618$. Так разочтены эти прибавки веса для всех остальных определений. Когда же известны прибавочные веса, отвечающие пустому шару, тогда определяются и веса воздуха p_1 и p_2 при двух данных давлениях, малом h_1 и большом h_2. Эти веса исправлялись на сжимаемость сосуда; так, например для VI определения $h_1=7.56$, $h_2=747.21$; $p_1=0.1270$, $p_2=12.5631$, но объем шара при этом был 9877.82 и 9879.73, а по приведении к объему 9879.76 получается $p_1=0.1273$ и $p_2=12.5631$.

Найдя, таким образом, веса p_1 и p_2 воздуха, наполняющего объем 9.87976 л при 0° и при давлениях, малом h_1 и большом h_2, я находил вес воздуха при давлении в 760 мм

[1] При расчете V и IX определений получены значения:

	p_0	A	B
V	14.26542	—0.0168092	—0.000000088
IX	14.08570	—0.0168112	—0.000000053

Отсюда, при сличении с вышеприведенным результатом IV определения, видно: 1) что p_0 очень изменчиво, 2) что численная величина B, определяющая отступления, постепенно падает и 3) A тогда возрастает. Все это указывает скорее на существование неполной точности определений, чем на возможность ими воспользоваться для определения уклонений от Бойля-Мариоттова закона.

двумя путями, пользуясь законом Бойля-Мариотта или руководясь лишь прямыми опытами Реньо, здесь рассматриваемыми.

По первому способу находился коэффициент пропорциональности k в изменении веса воздуха при переходе от h_1 к h_2. Очевидно, что $k = \frac{p_2 - p_1}{h_2 - h_1}$. Числа эти даны в таблице. Но, найдя этот коэффициент, я не умножал его на 760, как поступал Реньо, а пользовался им только для перехода от h_2 к 760 мм давления, т. е. производил при его помощи лишь небольшую поправку. Следовательно, вес p_1 служил для определения веса пустого сосуда p_0, а p_2 — для определения веса воздуха P_1. Так, в VI определении $h_2 = 747.21$, разность от 760 равна 12.79, при умножении ее на $k = 0.016813$ получаем 0.2150, прибавляя к $p_2' = 12.5631$, получаем искомое число 12.7781, которое и внесено в таблицу. Если же умножить k на 760, то получили бы 12.7779. Разность результата незначительна,[1] но тем не менее ощутима, как бы показывая неполную применимость Бойля-Мариоттова закона.

Чтобы получить результат опыта — совершенно не применяя Бойля-Мариоттова закона, должно знать эмпирический закон изменения веса данного объема воздуха с переменою давления и, исходя из h_2 и p_2, найти при 760 мм вес P. Для этой цели могут служить опытные данные трех (IV, V и IX) предшествующих определений. Они показывают в среднем, что

при давлении	$h =$	0	мм	вес	воздуха	$p =$	0
»	»	$= 6$	»	»	»	$=$	0.1008 г
»	»	$= 320$	»	»	»	$=$	5.3785 »
»	»	$= 760$	»	»	»	$=$	12.7791 »

Отсюда можно принять эмпирически

$$p = h(A + Bh + Ch^2).$$

---

[1] Она зависит от разности значений

$$\frac{p_2 - p_1}{h_2 - h_1} 760 \text{ и } p_2 + (760 - h_2)\frac{p_2 - p_1}{h_2 - h_1},$$

которая равна $\frac{p_2 h_1 - p_1 h_2}{h_2 - h_1}$ и определяется, в сущности (при точнейших данных), отступлениями от Бойля-Мариоттова закона.

Находим:

$$A = 0.01679983,\quad B = 0.0000000288,\quad C = -0.0000000000123.$$

Поэтому находим, что

$$\text{при } h = 750 \text{ мм } \frac{dp}{dh} = 0.0168223^1$$
$$\text{» } \text{» } = 770 \text{ » } \text{» } = 0.0168223,$$

т. е. около 760 мм давления, в пределах точности исследования, прибавка давления на 1 мм увеличивает вес воздуха, содержащегося в шаре, на одну и ту же величину 0.0168223, хотя бы давления изменялись от 740 до 780 мм. А потому если дано, что при давлении h_2, близком к 760 мм, вес воздуха $= p_2'$, то отсюда находим, что при давлении 760 мм он будет

$$P = p_2' + (760 - h_2)\ 0.0168223.$$

Так найдены числа последнего столбца предшествующей таблицы. Их должно считать наиболее верно выражающими наблюдения Реньо, потому что они получены совершенно независимо от признания применимости закона Бойля-Мариотта к воздуху при перемене давлений примерно от 5 мм к 770 мм, как в опытах Реньо.

Общее среднее последнего столбца:

IV, V, IX	12.7791
VI, II, VII	12.7800
I, III, VIII	12.7782
	12.7791[2],

[1] Заметим, что при h около 100 мм производная $= 0.0168052$, при 200 мм $= 0.0168099$ и так далее возрастает, в среднем же — от 0 до 760 мм $= 0.016815$.

[2] Чтобы сделать очевидным, какое влияние производит допущение в расчете Реньо Мариоттова закона, достаточно указать на то, что по IV определению формула $\frac{p_2 - p_1}{h_2 - h_1}\ 760$ (на этом законе основанная) дает вес воздуха $= 12.7770$ г, если взяты вышеприведенные исправленные данные для давлений в 746.11 и 2.93 мм. Величина эта, в пределе точности взвешиваний, почти тождественна с величиною (12.7775 г), получающеюся по расчету, произведенному вовсе без допущения Бойля-Мариоттова закона. Но необходимо добавить, что та же формула $\frac{p_2 - p_1}{h_2 - h_1}\ 760$ дает в том же IV определении вес $= 12.7874$, когда взять данные для 746.10 и 306.03 мм. Из этого примера и из расчета, приве-

представляет вероятнейший вывод из определений Реньо, в которых ныне, однако, нельзя сделать всех необходимых дальнейших поправок, например на изменение объема шаров при взвешивании от нагревания, на перемену плотности

денного в выноске на стр. 70 для IV, V и IX определений, видно, что, взяв лишь два крайние давления (как и делает Реньо), получается вес воздуха, весьма близкий тому, какой находится без допущения применимости Мариоттова закона. Это убеждает в том, что вышеописанные наблюдения Реньо, по мере свойственной им погрешности и по числу данных, не дают возможности сколько-либо точно судить об отступлениях от Бойля-Мариоттова закона, ибо они незначительны. Такой же вывод можно сделать и на основании всего того, что наблюдено мною для воздуха при давлениях, меньших 760 мм. Общий вывод этих наблюдений (см., например, статью Менделеева и Гемилиана в «Annales de chimie et de physique», 1876, t. IX) состоит в том: 1) что величина уклонений произведения hv (т. е. произведения давления на объем) от постоянства, требуемого Бойля-Мариоттовым законом, при перемене давлений от 760 до 20 мм, столь мала, что проявляется лишь в миллионных или стотысячных долях, если при 760 мм $hv = 1$; 2) что при давлениях, меньших чем 20 мм, отступления растут и всегда, т. е. для всех газов (даже CO_2 и SO_2), — положительны, или $\frac{d(hv)}{dh} > 0$; 3) что для воздуха при давлениях в 760 и даже 700 мм эти отступления — отрицательны, или $\frac{d(hv)}{dh} < 0$; 4) что новая перемена знака отступлений от Бойля-Мариоттова закона наступает между 30—80 атмосферами давления и 5) что при значительных давлениях, как и при самых малых для воздуха, отступления положительны, т. е. с возрастанием давления произведение hv растет, а в средних (примерно от 200 мм до 50 атмосфер) — отрицательны. Хотя наблюдения, произведенные мною одним и в сотрудничестве с Кирпичевым и Гемилианом, явно показывают эту общую картину изменения отступлений, но по их малости для давлений, ниже 760 мм — нет возможности дать сколько-либо точных цифр.

Эта незначительность отступлений, с одной стороны, с другой — перемена знака отступлений в пространстве от 5 до 760 мм давлений и, с третьей — малость веса значительно разреженных газов заставляют думать, что путем прямого взвешивания для воздуха (но не для CO_2 или SO_2) при малых давлениях можно открывать отступления от Бойля-Мариоттова закона только при доведении точности взвешиваний больших объемов воздуха, примерно, как у Реньо, в 10 л — до полной уверенности в сотых долях миллиграмма, чего, очевидно, не было в определениях Реньо и что вообще очень трудно достижимо. По этой причине вышеприведенные определения Реньо ничего не прибавляют к сведениям об отступлениях воздуха от Бойля-Мариоттова закона при давлениях меньших, чем атмосферное. В той же области малых давлений (менее 10 мм), где отступления становятся довольно явными (а ниже 5 мм и очень значительными), вес большого объема воздуха так мал, что являются новые трудно преодолимые затруднения для весового способа наблюдений. Совершенно иначе стоит вопрос о применимости весового способа для исследования отступлений от Бойля-Мариоттова закона при давлениях более атмосферного, а потому, когда я в 70-х годах занимался изучением упругости газов, у меня приготовлялись все при-

воздуха в весах, на изменение в весе пустого сосуда[1] и т. п. Но так как большинство подобных поправок должно, по существу дела, очень мало изменять результат, то должно принять следующий вывод:

Средний вывод из данных Реньо		С возможным уклонением от среднего
Емкость шара при 0°	= 9.87976 л	± 0.00005
Вес воздуха при 760 мм и 0°	= 12.7791 г	± 0.0027
Откуда вес 1 л	= 1.29347 г	± 0.00028

Число это отличается от вывода Реньо (1.29319) на +0.00032, т. е. на величину меньшую, чем разность отдельных определений от среднего. Разность +0.00032 определяется не только поправкою, введенною на сжимаемость шара при выкачивании из него воздуха, но и систематическим (при взвешивании воды и воздуха) исправлением взвешиваний на вес воздуха, вытесненного гирями.

Исследование Йолли (Ph. v. Jolly), публикованное в 1880 г. (Abhandlungen d. Math.-physik. Klasse d. König. Bayerischen Akademie d. Wissensch., Bd. XIII, Abteilung II, стр. 49) и произведенное в Мюнхене (с. ш. 48°8′, высота над уровнем моря 515 м), имело целью проследить изменение в составе воздуха, т. е. в относительном содержании кислорода и азота. Йолли применил для этого два способа: определение изменений веса литра воздуха и прямой эвдиометрический анализ, и после двухлетних наблюдений пришел к заключению о том, что состав воздуха изменяется (до 0.5% кислорода), смотря по направлению ветра. Известно, что многие предшествующие и последующие[2] исследователи пришли

способления именно для взвешивания сжатых газов в стальных яйцевидных сосудах, что не осуществилось лишь потому, что обстоятельства (описанные в «Трудах» имп. Русского технического общества 1881 г.) того времени не позволяли мне продолжать начатые исследования и принудили передать все приборы в имп. Русское техническое общество, от имени которого производились вышесказанные исследования.

[1] Судя по предшествующей таблице, он, несомненно, уменьшался от I до IX определений и варьировал от 14.2829 до 14.0857, т. е. почти на 2 дг. Причина этого немаловажного различия совершенно не ясна из мемуара Реньо.

[2] Из них Морлей (1882) и Гемпель (1885) аналитическими способами старались подтвердить вывод Йолли, но в конце пришли к выводу о постоянстве состава воздуха (например, Hempel Berlin. Ber., 1885, Bd. XVII, стр. 1802). Особенно же подробно разобрал дело Крейслер (Kreusler, Landwirtschaftl. Jahrbücher., v. 14, стр. 305), показавший, что, устраняя аналитические неточности приемов Йолли, всегда получается

к совершенно иному выводу. Крейслер в 1885 г. многими определениями вновь показал, что содержание кислорода в свободной атмосфере отличается полным — до предела точности исследований ($\pm 0.05\%$) — постоянством и что в эвдиометрических определениях Йолли существует источник погрешности его вывода. Тем не менее определения веса литра воздуха, произведенные Йолли, сохраняют свою силу, с тою добавкою, что замеченные им уклонения в весе литра воздуха должно приписывать неизбежным погрешностям определений, а не объяснять их, как делал Йолли, изменчивостью отношения между кислородом и азотом воздуха. Рассмотрение результатов, полученных Йолли, должно приводить к тому же заключению, показывая, что замеченные им уклонения в весе определенного объема воздуха впадают в область возможных погрешностей. Действительно, вес, при 0° и 760 мм давления, газов, наполняющих сосуд Йолли, найден им самим следующим:

	Число определений	Наименьший вес	Наибольший вес	Общее среднее
		граммы		
Кислорода	7	1.442470	1.442579	1.442545
Азота . .	7	1.269307	1.269609	1.269455
Воздуха .	23[1]	1.304931	1.305754	1.305283

Определяя по найденным числам объемный процент кислорода, получаем, взяв:

Наименьшие веса[2]	20.57%	по объему
Средний вес	20.70	» » [3]
Наибольшие веса	20.89	» »

от 20.88 до 20.94%, в среднем из 99 определений 20.91% кислорода; Морлей нашел среднее 20.95, Гемпель — 20.93, а потому ныне должно считать, что вывод Йолли об изменчивости состава воздуха неверен.

[1] Притом каждое из определений веса воздуха представляет, как объяснено далее, среднее из пяти отдельных взвешиваний. Общее среднее для воздуха Йолли сам не находил; оно разочтено мною по данным, далее приведенным.

[2] Если a есть вес определенного объема воздуха, b — кислорода и c — азота, то x объемов кислорода весят bx, $100 - x$ объемов азота весят $c(100 - x)$ и 100 объемов воздуха весят $100a = bx + c(100 - x)$, откуда $a = 100\frac{a - c}{b - c}$.

[3] Действительное же среднее содержание кислорода около 20.9%. Откуда видно, что в плотностях, определенных Йолли, есть погрешности.

Взяв средние данные, получаем и средний состав, что уже указывает на то, что в изменении веса воздуха участвуют преимущественно, если не исключительно, погрешности взвешиваний. В этом убеждают особенно данные Йолли для веса сосуда, содержащего лишь воздух, остающийся после выкачивания и представляющий упругость везде одну и ту же: 0.02 мм. Данные этого рода суть (стр. 61—63):

T — 1.272413	T — 1.273015	Общее среднее
1.272345 (min.)	1.273317	T — 1.27284311
1.272385	1.273404	
1.272443	1.273463 (max.)	
1.2723965	1.2732997	

Следовательно, при взвешивании пустого сосуда встречаются уклонения, достигающие ±0.0006 г от среднего, а разности наибольшего и наименьшего значений при этом доходят до 0.0011 г. Очевидно, что при взвешивании сосуда с воздухом могли встречаться, по крайней мере, такие же уклонения и различия, если не большие. А так как вес воздуха при 760 мм давления должен заключать в себе погрешность не только двух взвешиваний (сосуда пустого и с воздухом), но и барометрического отсчета, то этим объясняются в достаточной мере разности, встречающиеся у Йолли в весе воздуха. Двойное уклонение от среднего, по указанному примеру веса пустого сосуда, может достигать ±0.0012 г, а двойное различие maximum от minimum — до ±0.0022. Сюда должно прибавить погрешность в отсчете барометра, которую должно принять в определениях Йолли до ±0.04 мм,[2] чему отвечает возможность разности веса до ±0.00007 г.[3] Поэтому при определении веса воздуха можно ждать уклонения от среднего до ±0.00127 г, наименьший же вес воздуха уклоняется от среднего лишь на 0.00035 г, наибольший на 0.00047, а в разности наибольшего веса от наименьшего можно ждать различия до ±0.00227 г, в действительности же это различие не превосходит 0.00082 г. Отсюда становится очевидным: во-первых, что

[1] Буквою T обозначен постоянный вес тары.

[2] Так как он на стр. 55 говорит о невозможности определять разность давлений, выраженную сотыми долями миллиметра.

[3] Если при 760 мм давления вес = 1.305 г, то при давлении 0.04 [мм], по закону Мариотта, вес = 0.00007 г.

из наблюдений Йолли над весом воздуха никак нельзя делать выводов, касающихся изменения в составе воздуха, а во-вторых, что эти наблюдения Йолли, содержа в себе определенную меру погрешности, ведены с большою тщательностью и их средний результат заслуживает полнейшего внимания. На основании этого считаю необходимым подробно остановиться на данных Йолли, касающихся веса литра воздуха.

Общая система определений Йолли совершенно та же, как и у Реньо, т. е. при взвешивании воздуха противовесом служил запаянный сосуд, снаружи равнообъемный с тем, в котором взвешивания производились после выкачивания воздуха и после наполнения воздухом, имеющим упругость, близкую к 760 мм. Основные особенности состоят в том: 1) что сосуд с краном имел сравнительно малую емкость, около 1.009 л; 2) что выкачивание воздуха с помощью ртутного насоса доводилось каждый раз до того, что упругость оставшегося воздуха равнялась 0.02 мм; 3) что взвешивания производились по способу Гаусса (с перекладкою грузов), при отсчете отраженного изображения шкалы, и 4) чувствительность весов была доведена до того, что 1 деление шкалы при нагрузке взвешиваемым сосудом отвечало 0.102 мг[1] и разновес выверен до тысячных долей миллиграмма.

Эти указания позволяют нам далее приводить лишь результаты взвешиваний, не останавливаясь над их элементами, которые не всегда приводятся в мемуаре.[2]

---

[1] Но степень постоянства весов, т. е. тождественности их показаний при повторении взвешивания гирь, не указана.

[2] А там, где приведены, иногда дают выводы, не вполне согласные с теми, которые делает Йолли. Так, на стр. 64 дано, что сосуд с краном, вес которого в воздухе означен K, дал при помещении на правой чашке показание шкалы 735.0, когда на левую чашку был положен груз 142.0745 г, а при помещении K на левую чашку, на правой лежит груз 142.0725 г и шкала показала 736.7 деления. Отсюда, по указанной степени чувствительности весов (0.102 мг на 1 деление шкалы, а иных определений не дано), следует, что вес

$$K = \frac{142.0745 - 1.7(0.000102) + 142.0725}{2} = 142.0734135,$$

а Йолли выводит из тех же определений $K = 142.073415$, приводя каждый раз тысячные доли миллиграмма. Но так как 1 деление шкалы отвечает почти десятой доли миллиграмма, а отсчитывались лишь десятые доли делений, то очевидно, что взвешивания можно считать точными лишь до сотых долей миллиграмма. Тем не менее я привожу выводы Йолли с тысячными долями, как он их сам дает.

Вес в воздухе ($H = 721.57$, $t = 71°$) сосуда с открытым краном при уравновешении гирями (уд. вес 8.4) оказался = = 142.073415. Поправка на неточность гирь + 0.001876. Считая среднюю плотность стекла = 2.7, получим объем стенок сосуда = 19.73 см³, объем гирь = 16.91 (считая доли грамма платиновыми), вес кубического сантиметра вытесненного воздуха = 0.0011940,[1] а потому истинный вес сосуда = = 142.075291 + 0.0011940 (19.73 — 16.91) = 142.078658 г. Вес сосуда с водою 0° в воздухе ($H = 721.3$, $t = 6.4°$, относительная влажность = 65%) при закрытом кране = 1150.298380, поправка на неточность гирь + 0.001302.[2] Считая объем стенок сосуда (как и выше) = 19.73 см³, емкость сосуда (или объем воды, см. далее) = 1009.41 см³ и объем гирь = = 136.92 см³, а вес кубического сантиметра воздуха весов = = 0.0011965, получим истинный вес сосуда с водою 0° = 1150.299682 + 0.0011965 (1009.41 + 19.73 — 136.92) = = 1151.367223. Поэтому истинный вес воды равен

1009.288565 г.[3]

Принимая вес литра воды при 0° равным (как и в других моих расчетах) 999.873, получаем, что емкость сосуда равна

1.009417 л.

Что касается до веса воздуха, наполняющего этот сосуд, то он определяется при следующих условиях. Особую добавочную (большую) колбу с краном и небольшим количеством едкого кали вывозили за 2 км от города, предварительно выкачав из нее воздух, и, открыв за городом кран, наполняли воздухом. Затем в лаборатории соединяли одно отверстие колбы с сушильною трубкою (из которой предварительно выкачивали воздух) и с пустым сосудом, назначенным для взвешивания воздуха, в другое же отверстие колбы чрез воронку, доходящую до ее дна, вливали ртуть. Тогда при открытии кранов воздух из колбы входил

---

[1] Вес литра сухого воздуха с нормальным содержанием CO_2, при 0° и 760 мм, принят равным для Мюнхена 1.2934.

[2] Приведенные далее веса воздуха уже исправлены автором на неточность гирь.

[3] Йолли нашел 1009.286871 г; разность около 1.7 мг определяется как тем, что вес вытесненного воздуха при обоих взвешиваниях не был одинаков, чего Йолли не принял во внимание, так и тем, что он исходил из иного веса вытесненного воздуха, считая его во 2-м взвешивании = = 0.00121.

в сосуд для взвешивания, помещенный в лед. Дальнейших подробностей оперирования Йолли не описывает, но надо думать, судя по сообщенным численным данным, что после наполнения сосуда воздухом, колба запиралась краном, а сушильная трубка сообщалась с манометром, чтобы знать давление в сосуде при взвешивании. После взвешивания, вероятно (этих подробностей, к сожалению, нет в мемуаре), воздух из сосуда опять выкачивали, вновь сообщали с прежнею колбою и такую операцию повторяли для взятой порции загородного воздуха пять раз, судя по тому, что для первых пяти данных дано пять отдельных результатов.

В виде примера привожу первое данное, замечая, что чрез K означен вес пустого сосуда, а чрез T — вес тары, внешний объем которой Йолли считает до ± 0.06 см^3 одинаковым с внешним объемом сосуда, назначенного для воздуха. На стр. 61 именно дано:

«1. Воздух взят 14 октября.[1] Барометр 715.7.[2]
Вес пустого сосуда $K = T - 1.272413$.

Давление	Вес воздуха 0°	Давление	Вес воздуха 0°
713.90	1.226512	760	1.305713
713.03	1.224692	760	1.305367
711.44	1.222128	760	1.305545
715.11	1.228420	760	1.305532
714.00	1.226511	760	1.305529

Среднее 1.305537

Вес пустого сосуда $K = T - 1.272345$»

Этот пример, как и все другие числа, показывает, что все расчеты над весом воздуха уже сделаны самим Йолли, причем он руководился Мариоттовым законом,[3] что же касается до веса пустого сосуда, то он определялся в начале и конце каждых пяти взвешиваний и приведен автором, судя по его словам (стр. 61), для суждения о степени точности взвешивания. Таким образом получены следующие веса воздуха при 0° и 760 мм давления:

---

[1] Судя по указанию стр. 64, должно думать, что 1875 г.

[2] Должно думать (но автор об этом не упомянул), что все указанные давления приведены автором к 0°.

[3] Например, из первого числа 1.226512 при 713.90 получаем по Мариоттову закону для 760 мм именно 1.305713 г.

10 октября	1875 г.	1.305537	18 марта	1876 г.	1.305014
27 »	»	1.305656	9 мая	»	1.305200
10 ноября	»	1.304999	18 »	»	1.305131
21 »	»	1.305193	7 июня	»	1.305046
5 декабря	»	1.305589	20 »	»	1.305397
14 »	»	1.305525	15 июля	»	1.305239
2 января	1876 г.	1.305035	22 »	»	1.305594
24 »	»	1.305754	2 августа	»	1.305294
9 февраля	»	1.305281	29 »	»	1.305469
16 »	»	1.305099	11 сентября	»	1.305075
7 марта	»	1.305157	17 »	»	1.304931
	Среднее	1.305348		Среднее	1.305217[1]

Общее среднее 1.305283 г.

Оно требует троякой поправки: 1) на сжимаемость сосуда, 2) на вес воздуха, вытесненного гирями, и 3) на упругость воздуха, остававшегося при выкачивании. Эти поправки должно сделать в отношении именно к среднему выводу; потому подробные условия отдельных взвешиваний не даны.

1) Так как емкость шарообразного сосуда с краном была около 1009.4 см^3, а вес 142 г, то (полагая на кран 42 г) получим, что внутренний радиус шара около 62 см, поверхность шара около 487 см^2, а толщина стенок (если плотность стекла 2.75) около 0.075 см, откуда по вышеприведенной формуле для сжимаемости шара $\left(=0.0000017\ \frac{r}{e}\ V\right)$ получим, что при перевесе в 1 атмосферу внешнего давления над внутренним уменьшение объема шара будет около 0.15 см^3. Считая вес кубического сантиметра воздуха $=$ $=0.0012$ г, получим, что поправка, относящаяся к сжатию сосуда, будет около $+0.000180$ г. Большей величины она, вероятно, иметь не будет уже по той причине, что перевес давления в определениях Йолли не мог равняться целой атмосфере, так как обычное давление в Мюнхене, где про-

[1] Среднее из 11 первых взвешиваний отличается от среднего из 11 последних взвешиваний на 0.00013 г. Допуская, что при взвешивании пустого сосуда и сосуда с воздухом делали ошибку на 0.2 деления шкалы, а при отсчете барометра — на 0.05 мм, можно объяснить указанную разность, но нельзя допустить, что в средних результатах могли оставаться подобные различия. Мне кажется, что наиболее вероятную причину полученных разностей должно искать в двух обстоятельствах. Во-первых, в неполной точности весов, т. е. в непостоянстве показаний шкалы при повторенных взвешиваниях. Вторую же причину различий, по моему мнению, должно искать в неодинаковости сжатий сосуда, вмещающего воздух и служащего для тары, и в различии при взвешиваниях барометрических давлений и температур.

изводились исследования, было 720 мм, а не 760 мм. Но так как, во-первых, при взвешивании шара с воздухом внутреннее давление превосходило наружное, что вело к увеличению объема шара с краном, во-вторых, Йолли прямо упоминает, что приравнивание объемов обоих сосудов простиралось лишь до 0.06 см³, а так как такая разность объемов влечет уже поправку в 0.000072 г, то о точности поправки до сотых долей миллиграмма в отношении разности объемов не может быть и речи.

2) Называя чрез p истинный вес пустого сосуда с краном, чрез A истинный вес добавочного шара, чрез x истинный вес содержащегося в нем воздуха, чрез V внешний объем шара с краном и добавочного (тарирного шара), чрез w сокращение объема при выкачивании воздуха, чрез Δ плотность гирь и чрез e вес кубического сантиметра воздуха весов, имеем, при взвешивании пустого шара:

$$p - e(V - w) = A - e\left(\frac{A}{\Delta} + V\right),$$

а при взвешивании сосуда с воздухом:

$$p + x - eV = A + B - e\left(V + \frac{A + B}{\Delta}\right),$$

если B выражает вес гирь, добавленных при наполнении сосуда воздухом. Это B и выражается вышенайденным средним числом определений Йолли. Из уравнений, составленных для взвешиваний воздуха, выводим:

$$x = B + ew - e\frac{B}{\Delta}.$$

Первая поправка найденного веса B или величина ew[1] входит с плюсом, но другая поправка $e\frac{B}{\Delta}$ с минусом. Если $e = 0.0012$ и $\frac{B}{\Delta}$ есть объем гирь, то он $= 0.13$ см³ (если 1 г из латуни, а 0.305 г из платины), а потому вторая поправка $= -0.000166$.

3) Йолли упоминает (стр. 55), что он производил всегда выкачивание воздуха до упругости 0.02 мм и в этом виде считал сосуд за «пустой». Пусть разность веса сосуда с воздухом при давлении H мм и «пустого» $= p$. По ней Йолли

[1] Она рассмотрена выше, под знаком 1).

расчел вес B при давлении 760 мм, т. е. $B = \frac{p}{H} \cdot 760$, но истинный вес при 760 больше этого, принимая Мариоттов закон, а именно он $= \frac{p \cdot 760}{H - 0.02}$; если $H = 720$, то истинный вес будет $\frac{p \cdot 760}{H}\left(1 + \frac{0.02}{720}\right)$ или $= B + 0.000036$. Следовательно, эта третья поправка ограничивается сотыми долями миллиграмма.

Таким образом, полученное среднее для веса воздуха (1.305283 г) должно быть исправлено чрез прибавку $+0.000180 - 0.000166 + 0.000036$, или в сумме $+0.000050$, а потому истинный вес воздуха, наполняющего сосуд Йолли при 0° и 760 мм, равен

1.305333 г.

Разделяя этот средний вес на объем (1.009417 л), получим вес литра воздуха при 0° и 760 мм

1.29316 г.

Так как в основных числах (вес воздуха) встречаются различия от среднего, доходящие до $+0.00041$, то наибольшее уклонение в весе литра должно принимать здесь (± 0.00040) большим, чем у Реньо (± 0.00028). Чтобы сделать сравнимыми числа обоих исследователей, должно заметить, что по формуле Гельмерта ($g = 978.00$ см $+ 5.19 \sin^2\varphi$) напряжение тяжести на уровне моря в Мюнхене $= 9.8088$ м, так как $\varphi = 48°8'$, а при высоте места 515 м[1] для Мюнхена $g = 9.8073$, для Парижа же ($\varphi = 48°50'$) по Deforges $g = 9.8100$, а потому, [по отношению] к Парижу, данные Йолли дают вес литра воздуха $= 1.29352$ г, что представляет от величины, выводимой из определений Реньо (1.29347) разность только в сотых долях миллиграмма ($= 0.00005$ г) и, следовательно, с новой стороны укрепляет уверенность в том, что состав и вес литра сухого воздуха, лишенного углекислоты, представляют полное постоянство в пределах точности существующих определений.

Определения Ледюка. Ледюк (A. Leduc) в 1892 г. (Journal de Physique thèor. et appl., 3 série, t. I, стр. 231), придерживаясь основных начал Реньо (т. е. уравновешивая шар с краном — другим, ему равнообъемным), произвел ряд

[1] Считая средний радиус земли 6 366 200 м.

определений веса литра воздуха, но привел только описание примененных им способов исследования и полученные численные результаты, не сообщая непосредственных данных отдельных взвешиваний. Вообще он полагает, что достиг точности до $\frac{1}{10000}$ веса, но и эту точность считает едва достижимою при соблюдении той предосторожности, чтобы взвешивание пустого шара повторялось до и после определения веса шара с воздухом, приписывая немалое значение способу вытирания шара влажным полотном и высыханию слоя влажности, при этом пристающей к поверхности шара, и замечает, что каждое вытирание влечет за собою уменьшение веса не менее, как на 0.3 мг.[1] Возможную погрешность в отсчете барометра Ледюк считает достигающею до 0.04 мм, что влечет уже погрешность до 0.000067 г в весе литра воздуха. Выкачивание воздуха он доводил при помощи ртутного насоса до 0.1 мм, но не пишет, производил ли поправку на вес оставшегося воздуха; но я не имею твердых оснований думать, что эта поправка не была сделана.[2] Разновес применялся особо выверенный. Сжимаемость сосуда при выкачивании воздуха определена особым опытом и оказалась близкою к 0.5 см^3, но способ определения не указан. Очевидно, что поправка веса при этом равнялась +0.0006 г.

Что касается до результатов, полученных Ледюком, то я предпочитаю передать их вполне словами автора, тем более, что они очень сжаты.

«*Вес литра нормального воздуха.* Я сделал (пишет Ледюк) шесть определений с помощью шара, емкость которого тщательно определил по способу Реньо; эта емкость при 0° равнялась 2.26506 л с точностью не меньшею, чем до 0.1 см^3, считая в том числе и канал крана. Вес нормаль-

[1] Занимаясь исследованием удельных весов жидкостей, я испытывал однажды (в 60-х годах), какую убыль веса влечет за собою вытирание стеклянного сосуда, вмещающего примерно 20 см^3 воды? После многократно повторенного вытирания влажным мягким полотенцем, в одном из моих сосудов произошла убыль в десятых миллиграмма, другие же два не показали заметной (в сотых) убыли веса, так что я вывел уверенность в том, что хорошие сорта стекла теряют от вытирания ничтожные доли веса.

[2] Если же не была сделана, то число Ледюка для веса литра воздуха должно увеличить на 0.00017 г, тогда вместо 1.29330 г получится как раз число, выведенное мною из данных Реньо, 1.29347. Такое разительное согласие чисел составляет одну из причин того, что ныне весьма желательно повторение определений Реньо с соблюдением всех возможных предосторожностей, указываемых в предлагаемой статье.

ного воздуха, наполняющего этот шар, найден равным от 2.9286 до 2.9290 г. Сюда следует прибавить 0.0006 г, чтобы принять во внимание сокращение пустого шара. Поэтому вес литра нормального воздуха:

$$\frac{2.9288 + 0.0006}{2.26506} = 1.2933 \text{ г».}^1$$

Вот все, что до сих пор, сколько мне известно, публиковал Ледюк в отношении к своим определениям веса литра воздуха.

Исследование Релея. В 1893 г. лорд Релей (Rayleigh) публиковал (Proceedings of the Royal Society, v. III, стр. 134) исследование об уд. весе газов (воздуха, кислорода и азота), причем: 1) измерял давления взвешиваемых газов столбом ртути, вмещающейся между двумя остриями вертикального железного стержня, заранее измерив расстояние этих остриев и делая лишь поправку на температуру ртути и железного стержня; 2) с особою тщательностью выверил примененный им граммовый разновес и ввел поправки на погрешности гирь, найденные чрез их взаимное сличение; 3) уравновешивал шар (емкостью около 1.836 л) с краном другим, ему подобным, как Реньо, и 4) ввел поправку на сжимаемость шара при выкачивании из него воздуха. Но так как Релей не сделал поправки на вес воздуха, вытесняемого гирями, а привел подлинные данные взвешиваний (исправив их на неточность в гирях), то и его определения считаю необходимым вновь перечислить, причем останавливаюсь лишь над данными для воздуха.

Определение веса воды, вмещающейся в шар при 0°, сделано было лишь один раз. На одну чашку весов был помещен при 6.3° шар с водою, которая вмещается при 0°, на другой же чашке весов положен был противовес в виде гирь, которых вес не было надобности знать, потому что они оставались и при взвешивании порожнего шара на той же чашке. Для полного равновесия пришлось добавить к шару 0.1822 г. При этом исправленное (corrected) барометрическое давление равнялось 758.9 мм, а температура воздуха 6.3°.

---

[1] Если принять, что объем определен с точностью ± 0.0001 л, а вес воздуха с точностью ± 0.0002 г, то в весе литра воздуха можно ждать погрешности ± 0.00014. В определениях Реньо погрешность, выведенная тем же способом, в два раза больше, у Йолли примерно в 3 раза больше, а потому в определениях Ледюка должно видеть успех в изучении веса литра воздуха.

Влажность не дана. Когда затем (чрез 5 дней) шар был освобожден от воды, высушен и с открытым краном положен на прежнее место, то пришлось к нему добавить 1834.1701 г для достижения равновесия, причем, по замечанию Релея, разность условий взвешивания (т. е. температуры и давления воздуха) была очень мала (sufficiently small), чтобы влиять на поправку взвешивания в отношении к весу воздуха, вытесняемого стеклом и гирями, вследствие чего автор делает поправку лишь на вес воздуха, вытесненного водою, но при втором взвешивании не приводит ни показания барометра, ни температуры. Эти последние замечания заставляют принять давление $=758.9$ и $t=6.3°$, как в первом взвешивании. Поправка, введенная Релеем для воздуха, вытесненного водою, $=2.314$ г, а так как он определил емкость шара 1.8365 л, то вес литра воздуха, значит, принят Релеем равным $\frac{2.314}{1.8365}=1.260$. Если вес литра чистого (без CO_2) сухого воздуха для места, где производились определения лорда Релея (северная широта указана автором и $=51°47'$), при 0° и 760 мм принять $=$ $=1.2938$ г, то при содержании $0.04\%\,CO_2$ он близок к 1.29406. Считая давление $H=758.9$, температуру $t=6.3°$, для сухого воздуха, получим вес литра $=1.26299$ г, а для воздуха, совершенно насыщенного влагою ($h=7.1$), $=1.25949$. Отсюда видно, что число, принятое Релеем (1.260), должно быть близко к действительности, а потому мы его примем, допуская вместе с автором, что при всех предшествующих взвешиваниях плотность воздуха в весах была одна и та же.

Из данных должно заключить, что:

истинный вес шара + истинный вес воды + 0.1822 г $- p_1 -$ $- p_2 - p_3 =$ весу противовеса в воздухе,

где p_1, p_2 и p_3 суть веса воздуха, вытесненные шаром, водою и 0.1822 г гирь. Из второго же взвешивания следует:

истинный вес шара + 1834.1701 г $- p_1 - p_4 =$ весу противовеса в воздухе,

где p_4 есть вес воздуха, вытесненного 1834.1701 г гирь.

Так как вес литра воздуха, по показанию автора, в обоих взвешиваниях должно принять одинаковым, то из обоих равенств следует, что

$$\text{истинный вес воды } 0° = 1833.9879 \text{ г} + p_2 + p_3 - p_4.$$

Веса вытесненного воздуха равны весу литра воздуха (1.2600 г), умноженному на соответственные объемы: v_2 (воды), v_3 (гирь 0.1822 г) и v_4 (гирь 1834.1701 г), в литрах. Так как плотность материала гирь не приведена, то и их истинный объем неизвестен, но в мемуаре Релея упомянуто (l. c., стр. 141), что противовесом служил бронзовый груз (brass contrepoises), а потому можно сделать допущение, что и гири, весящие более 1 г, были бронзовые, т. е. имели уд. вес около 8.5, мелкие же гири были из платины. По этому предположению объем v_3 (гирь весом 0.1822), входящий с плюсом, сокращается (в пределе точности взвешиваний) с добавочным объемом (0.1701 г) мелких гирь во втором взвешивании, объем гирь которого входит с отрицательным знаком, а потому в расчет взойдет только объем 1834 г бронзовых гирь, а он по предыдущему $= \frac{1.834}{8.5} = 0.2158$ л. Что касается до объема воды, то он, как увидим далее, $=$ $= 1.83626$ литра. Отсюда:

$$\text{истинный вес воды } 0° = 1833.9879 \text{ г} + 1.2600\,(1.8363 - 0.2158) = 1836.0296 \text{ г}.$$

Если вес литра воды при наибольшей плотности (4° Ц) равен 1000 г, то при 0° он $= 999.873$ г (см.: Менделеев, Philos. Magaz., 1892, стр. 131), а потому объем воды 0° или вместимость шара при 0° равна:

$$\frac{1836.0296}{999.873} = 1.83626 \text{ л}.$$

Число это отличается (на 0.26 см^3) от выведенного лордом Релеем (1.83652) по той причине, что он не ввел поправки на потерю веса гирь на вес вытесненного ими воздуха.

Число определений, относящихся до веса шара с воздухом, равно семи, а вес пустого шара определен восемь раз, но часть определений, а именно после 5 октября 1892 г., произведена после нового смазывания крана, что повлекло за собою прибыль в весе, определяющуюся из того, что средний вес пустого шара после новой смазки прибыл на 0.00142 г. При взвешивании шара, как пустого, так и наполненного воздухом (имеющим при 0° упругость, отвечающую манометрическому железному стержню), груз прибавлялся на чашку с изученным шаром, а на другой чашке весов помещался равнообъемный ему добавочный шар, очевидно,

все время с запертым краном. Данные первых (до новой смазки крана) взвешиваний суть:

1892 г.	Прибавка к шару пустому, граммы	Прибавка к шару, наполненному воздухом	Температура манометра
Сентября 24	2.90941	—	—
» 27	—	0.53327	17.8°
» 28	2.90867	—	—
» 29	—	0.53271	15.7
Октября 1	2.90923	—	—
» 3	—	0.53151	12.7
» 4	2.90872	—	—

Средний вес пустого шара выражается прибавкою 2.90901 г, истинный вес которых найдется чрез добавление веса вытесненного ими воздуха, а он $= 0.0012 \left(\frac{2}{8.5} + \frac{0.9091}{20.5}\right) =$ $= 0.00033$ г, если принять для веса кубического сантиметра (миллилитра) воздуха средний вес 0.0012 г, а для гирь плотности 8.5 и 20.5, как для бронзы и платины. Поэтому средний вес пустого шара определяется добавкою 2.90934 г. Точно так же найдем поправку веса шара с воздухом равною $+0.00003$ г. Вводя эти поправки, мы чрез вычитание еще не найдем истинного веса воздуха, вмещающегося в шар, потому что его объем изменяется с переменою разности давлений, действующих на него снаружи и изнутри. Изменение объема сосудов, при перемене разности внешнего и внутреннего давлений, измерялось много в моих исследованиях над упругостью разреженных газов (Менделеев. Об упругости газов, I, 1875, стр. 218, §§ 85 и 86), и я нашел, например (1874), для одного из примененных мною сосудов, вмещавших около 45 000 г ртути (что отвечает примерно 3.33 *л*), что при разности давления в 1 см объем его изменяется на величину, отвечающую 0.067 г ртути (около 0.00496 $см^3$), т. е. при изменении давления на атмосферу (± 76 см) 1000 объемов моего сосуда изменялись на ± 0.113 объема. Шар, примененный лордом Релеем, представлял гораздо большую величину изменения объема от перемены давления,[1] как можно видеть из того, что автор

[1] Для шара, внутренний радиус которого r, толщина стенок e, а емкость V, при изменении давления происходит перемена объема, рассмотренная выше (стр. 65), а потому должно думать, что стенки шара Релея были гораздо тоньше, чем исследованного мною яйцевидного сосуда.

для всех взвешиваний вводит поправку = 0.00056 г, считая ее отвечающею перемене внутреннего давления на атмосферу и весу внешнего воздуха, отвечающему сокращению объема шара. Так как вес кубического сантиметра воздуха весов близок к 0.0012 г, то поправка 0.00056 отвечает сокращению объема в 0.467 см³. А так как объем сосуда около 1.836 л, то сокращение на 1000 объемов оказывается здесь равным 0.254 объема, т. е. почти вдвое большим, чем для вышеприведенного моего сосуда.

К сожалению, в мемуаре лорда Релея не приведено прямых наблюдений, относящихся к примененному им шару,[1] а потому необходимо довольствоваться числом (0.00056), данным автором, которое не должно вводить значительной новой погрешности уже по той причине, что самая поправка на весь вес сосуда ограничивается 0.56 мг, т. е. представляет величину, близкую к пределу погрешностей отдельных взвешиваний. Таким образом, должно принять, что шар пустой имел объем на 0.467 см³ меньший, чем шар, наполненный воздухом,[2] а потому к весу, добавленному к пустому шару, должно прибавить вышеуказанную поправку 0.00056, чтобы получить истинный вес пустого шара. В самом деле, назовем чрез V неизвестный внешний объем шара, когда он наполнен воздухом, и будем считать, что добавочный шар, остающийся на другой чашке весов при обоих взвешиваниях, имеет совершенно тот же внешний объем V.

---

[1] В «Proceedings of the Royal Society», v. 43, стр. 362 (от 9 февраля 1888 г.) лорд Релей пишет: «By filling the globe with carefully boiled water, it is not difficult to determine experimentally the expansion per atmosphere. In the case of globe (14) it appears that under normal atmospheric conditions the quantity to be added to the apparent weights of the hydrogen and oxygen is 0.00056 gram». Каких-либо более подробных указаний насчет способа определения указанной поправки я не нашел у лорда Релея. А из сказанного неясно — введена ли им поправка на сжимаемость воды (см. выше, стр. 66), и можно думать, что число, найденное лордом в 1888 г., применено им без дальнейшего исследования и в 1893 г., причем, надо полагать, был применен такой же шарообразный сосуд (14). Если Релей, как Крафтс, не сделал поправки на сжимаемость воды, то введенная им поправка должна быть уменьшена, но я этого не решаюсь делать ввиду неполной ясности предмета, удерживая поправку, введенную самим лордом Релеем. Говоря вообще, при дальнейших исследованиях веса литра воздуха и других газов, желательно, чтобы упомянутая поправка определялась с большею, чем доныне, тщательностью и преимущественно чрез увеличение давления на шар снаружи, а не чрез уменьшение внутреннего давления.

[2] Упругость воздуха при взвешивании шара была около 800 мм, если предположить, что температура шара была = 15° Ц. Неизвестно, введена ли поправка на соответственное увеличение объема.

Означим затем чрез Δ уд. вес гирь и чрез e вес кубического сантиметра воздуха (около 0.0012 г). Очевидно, что при взвешивании пустого шара его объем $= V - 0.467$ см^3 и равновесие наступит, когда

$$\text{истинный вес пустого шара} + 2.90901 - e\left(V - 0.467 + \frac{2.90901}{\Delta}\right) = \text{истинному весу второго шара} - eV.$$

Точно так же при взвешивании шара с воздухом равновесие наступит, когда:

$$\text{истинный вес пустого шара} + \text{истинный вес вмещающегося воздуха} + p - e\left(V + \frac{p}{\Delta}\right) = \text{истинному весу второго шара} - eV.$$

Отсюда находим, что:

$$\text{истинный вес вмещающегося воздуха} = 2.90901 - p - 0.00033 + 0.00003 + 0.00056 \text{ г} = 2.90927 - p,$$

где 2.90901 есть средний вес гирь, добавленных к пустому шару; 0.00033 равно, как найдено выше, $\frac{2.90901}{\Delta} e$; 0.00003 равно $e \cdot \frac{p}{\Delta}$ и 0.00056 отвечает поправке $e \cdot 0.467$. Подставляя соответственные значения p (груз, добавленный к весу шара с воздухом) и рассчитывая по предшествующей схеме остальные наблюдения, произведенные после смазки крана (для коих средний вес пустого шара $= 2.91043$ г), а именно:

1892 г.	Прибавка к пустому шару, граммы	Прибавка к шару, наполненному воздухом	Температура манометра
Октября 7	2.91036	—	—
» 8	—	0.53296	12.4°
» 10	2.91056	—	—
» 11	—	0.53251	11.8
» 12	2.91039	—	—
» 13	—	0.53201	11.0
» 14	2.91043	—	—
» 15	—	0.53219	10.6

получим следующие истинные веса воздуха, наполняющего шар при 0°, при давлении, измеряемом в манометре:

	Истинный вес воздуха в шаре [граммы]	Температура манометра	t^1	Разочтенное по t давление H, миллиметры
Сентября 27	2.37600	17.8°	17.65°	760.106
» 29	2.37656	15.7	15.55	760.377
Октября 3	2.37776	12.7	12.55	760.764
» 8	2.37773	12.4	12.25	760.807
» 11	2.37818	11.8	11.65	760.880
» 13	2.37868	11.0	11.85	760.984
» 15	2.37850	10.6	10.45	760.035
Среднее . .	2.37763		12.99°	760.708

Чтобы найти давления (последний столбец), при которых запирался в шаре при 0° воздух, должно заметить, что во всех случаях давление выражено столбом ртути, равным по высоте расстоянию остриев железного стержня, измерение которого, по сравнению с добавочным метром, дало упомянутое расстояние при 15° = 762.248 мм. Этот добавочный метр по сравнению, произведенному Ченеем (Chaney), с платино-иридиевым прототипом, оказался [при] 15° имеющим длину 1000.3454 мм, откуда при 15° расстояние остриев железного стержня манометра должно принять $L = 762.511$ мм. Для определения давлений, отвечающих $t°$, длину железного стержня можно принять с достаточной степенью точности, равной $L_t = 762.511\ [1 + 0.000011\ (t - 15)]$ или

$$L_t = 762.385 + 0.00839\,t,$$

так как в столь узких пределах изменения температуры шкалы, как в определениях Релея, коэффициент расширения железа можно принять постоянным и равным 0.000011. Если L_t есть высота столба ртути при $t°$, то давление H, выраженное столбом ртути, имеющей 0°, определится с достаточною точностью (потому что t не более 18° и точность отсчета не более 0.01 мм) равенством:

$$H = L_t(1 + 0.0001804\,t),$$

как должно заключить из формулы[2] расширения ртути, вы-

[1] На стр. 146 мемуара лорда Релея указано, что термометр, находящийся при манометре, показывает на 0.15° выше, а потому поправка = = — 0.15.

[2] $V_t = V_0\ (1 + 0.0001801\,t + 0.00000002\,t^2)$

веденной мною (Журн. Русск. физ.-хим. общ., 1875, стр. 75) из разбора данных Реньо. А поэтому, довольствуясь точностью до 0.01 мм, можно принять

$$H = 762.385 - 0.12914\,t.$$

По этой формуле разочтены давления, приведенные в последнем столбце предшествующей таблицы.

Рассчитывая из этих данных по закону Бойля-Мариотта вес, соответствующий давлению 760 мм, получаем:

Сентября	27	2.37567 г
»	29	2.37538 »
Октября	3	2.37537 »
»	8	2.37521 »
»	11	2.37543 »
»	13	2.37560 »
»	15	2.37526 »
Среднее . . .		2.37542 г

Считая вместе с лордом Релеем (l. c., стр. 146), что напряжение тяжести в Париже относится к напряжению тяжести в месте наблюдения, как 0.99974[1] к 1, получим отсюда для Парижа вес 2.37480. Это число отличается от вычисленного (l. c., стр. 147) Релеем (2.37512) на 0.00032 г, и притом вес воздуха оказался меньшим, чем принимал Релей (для Парижа), именно по той причине, что он не произвел поправки на вес воздуха, вытесненного гирями. А так как и объем воздуха (вес вмещаемой воды) оказался, по указанной причине, менее вычисленного Релеем, то вес литра воздуха, находимый после введения указанной поправки $\left(\text{для Парижа: } \frac{2.37480}{1.83626} = 1.29328 \text{ г}\right)$, оказывается почти не отличающимся от вычисленого лордом Релеем $\left(\text{для Парижа: } \frac{2.37512}{1.83652} = 1.29327\right)$.[2]

[1] В дальнейшем расчете принято, однако, немного иное отношение напряжения тяжести.

[2] Если вообще при определении удельного веса наблюдение дало вес вещества P и вес того же объема воды P_1 и если оба эти веса исправлены только на вес ими вытесненного воздуха (без поправки на вес воздуха, вытесненного гирями), то получается уд. вес, близкий к действительности, и если бы плотность гирь Δ и вытесняемого воз-

Вышеприведенный средний истинный вес воздуха, вмещающегося в шаре при 0° и давлении 760 мм, показывает, что на месте наблюдений лорда Релея, северная широта которого указана = 51°47′, вес литра сухого воздуха при 0° и 760 мм равен

$$\frac{2.37542}{1.83626} = 1.29362 \text{ г.}$$

Так как в числитель входит среднее число, при выводе которого встречаются отдельные числа, отступающие от среднего на 0.00025 г, то отдельные наблюдения уклоняются от указанного вывода не более, как на ±0.00014. В дальнейшем сличении для места наблюдений Релея принято, на основании формулы Гельмерта ($g = 978.00$ см $+ 5.19 \sin^2\varphi$, полагая $\varphi = 51°47'$), что $g = 9.8126$ м, а так как для Парижа $g = 9.8100$ (см. выше), то, по отношению к Парижу, определения лорда Релея дают вес литра воздуха = 1.29328 г. Число это отличается от выведенного нами из определений Реньо (1.29347) только в десятых долях миллиграмма (на 0.00019 г), т. е. представляет полное согласие — в пределах возможных погрешностей обоих наблюдателей.

Сводя окончательные результаты всех четырех исследователей веса литра воздуха, считаю необходимым прежде всего указать на то, что ныне нет возможности предпочесть одни данные другим, потому что в числах каждого наблюдателя есть свои особые достоинства, например у Реньо определение объема повторено и вообще обставлено лучше, чем у всех других наблюдателей, притом объем воздуха у него более, чем у всех других; у Йолли число

духа e были совершенно одинаковыми в обоих взвешиваниях, то они были бы тождественны. Действительно, без указанной поправки уд. вес = $= \frac{P}{P_1}$, а вводя поправку: $\frac{\left(P - e\frac{P}{\Delta}\right)}{\left(P_1 - e\frac{P_1}{\Delta}\right)}$, т. е. $= \frac{P}{P_1}$. Но так как плотность гирь обыкновенно не одинакова, особенно для крупных и мелких гирь, и так как плотность вытесняемого гирями воздуха также изменяется от одного взвешивания к другому, то тогда, когда желают достичь в определении уд. веса всей возможной точности, необходимо должно производить поправку на вес воздуха, вытесняемого гирями.

наблюдений веса воздуха более, чем у всех других, а потому в среднем результате должны сгладиться побочные причины неточностей; наблюдения же Ледюка и лорда Релея при взвешивании воздуха обставлены многими предосторожностями, не применявшимися прежними исследователями, но их одни нельзя оставить, потому что и они, повидимому, еще не приняли всех ныне возможных предосторожностей и в определениях объемов дали мало наблюдений. Поэтому я считаю за наилучшее, придав всем четырем отдельным выводам одинаковое по степени точности значение, взять среднее.[1] Для надлежащего сличения все выводы перечислены для $g = 1$ м, чтобы, умножая на g (выраженное в метрах), легко было прямо находить вес литра e воздуха в данном месте:

Наблюдатели	Вес литра по опыту, граммы	При напряжении тяжести, метры	Вес литра воздуха при напряжении тяжести $= g$ метров, граммы
Реньо (1847) . . .	1.29347	$g = 9.8100$	0.131852 g
Йолли (1880) . .	1.29316	9.8073	0.131857 g
Ледюк (1892) . .	1.29330	9.8100	0.131835 g
Релей (1893) . . .	1.29362	9.8126	0.131833 g
		Среднее . .	0.131844 g

Вероятная погрешность этого среднего вывода $\pm 0.000004\ g$ г, но осторожнее принять, что действительность отличается от среднего на $\pm 0.000008\ g$ или на ± 0.00010 г. Это среднее дает для Парижа, где $g = 9.8100$ (по определению Deforges), вес литра $= 1.29339$, что составляет почти точную среднюю величину между выведенными из определений Реньо и Ледюка. Для 45° с. ш., приняв, что $g = 9.8055$ (по формуле Гельмерта), можно считать вес литра

$$e_0 = 1.2928 \pm 0.0001 \text{ г.}$$

Если даже считать погрешность в самом определении веса литра воздуха в среднем не большею, чем ± 0.00005,

[1] Тем не менее и поныне выводы из данных Реньо мне кажутся наиболее достоверными.

то сверх того в определении напряжения тяжести должно подозревать причину не меньшей погрешности, так как доныне в этом основном предмете естествознания существуют сведения, не превышающие относительной точности двадцатитысячных долей. Так, например, широко распространенная и составленная на основании, повидимому, очень надежных данных формула Гельмерта ($g = 9.7800 + 0.0519 \sin^2 \varphi$ — в метрах) дает для Парижа ($\varphi = 48°50'$) $g = 9.80944$, а по новейшим определениям Дефоржа для Парижа $g = 9.81000$, разность $= 0.00056$, и она составляет $\frac{1}{17500}$ всей величины. Таким образом, в определении веса литра сухого и лишенного углекислоты воздуха при 0° и 760 мм давления в данном месте, при современной степени точности существующих сведений, должно подозревать погрешность, по крайней мере, равную десятой доле миллиграмма. Тем более есть основание, до появления новых точнейших определений, остановиться на некотором числе, для случаев практического применения. За такое число при всех работах Главной палаты мер и весов принято

$$e_0 = 0.131844\, g \text{ г} \pm 0.00010 \text{ г},^1$$

где g есть напряжение тяжести, выраженное в метрах.

Так как в весе литра воздуха, определенном четырьмя наблюдателями, наибольшая разность от среднего, после приведения к одному напряжению тяжести, не превосходит 0.00013 г, то в среднем из всех определений нельзя считать большей погрешности, чем ± 0.00010 г. Но и эта погрешность, помимо иных (зависящих от определения плотности гирь, напряжения тяжести, температуры воздуха, его давления и влажности) возможных при введении поправки на взвешивания, показывает уже, что при сравнении, например, килограммов, приготовленных из разных металлов, могут в тысячных долях миллиграмма являться неточности, не зависящие от неточности самих взвешиваний. Действительно, килограммовая гиря из иридистой платины (уд. вес около 21.5) занимает объем около 45 см^3, а из латуни или подобного ей сплава (при уд. весе около 8.3) объем около 120 см^3, следовательно, разность объемов может быть около 0.075 л.

---

[1] Если принять для Петербурга, по Стебницкому, $g = 9.8188$, то $e_0 = 1.29455 \pm 0.00010$ г.

а потому поправка веса будет около дециграмма (смотря по температуре, давлению и влажности воздуха), с возможною погрешностью $\pm 0.0001 \times 0.075$, или ± 0.0075 мг, зависящею от неполноты сведений о весе литра воздуха. Ныне, когда при устройстве весов, назначаемых для центральных метрологических учреждений, достигается даже при нагрузке в 1 кг такая чувствительность и точность, что тысячные доли миллиграмма (легко определяемые для гирь меньшего веса, например, в 20 г) действительно могут быть определяемы, становится особо настоятельным желать, чтобы вес литра воздуха был вновь определен с большею, чем доныне, точностью. До тех же пор можно ждать указанной степени точности только для гирь малого веса и малого объема (например из иридистой платины) или при сличении гирь из одного и того же материала (потому что тогда поправка на вес вытесненного воздуха исчезает, если плотности гирь одинаковы).

Влияние степени точности в определении удельного веса гирь и точности в определении температуры, давления и влажности воздуха на точность результатов взвешивания, равно как и описание способов, при помощи которых можно упростить и сделать более точным определение веса воздуха, будут рассмотрены в статье «Временника» о поправках взвешиваний, где я предполагаю подробнее рассмотреть давно (Comptes Rendus de l'Academie, 1860, t. L, стр. 54) применяемый мною способ производства поправки на взвешивания в воздухе.

Для того же, чтобы явно выставить необходимость ныне же, когда правительство определило возобновление прототипов русского веса, — подробно рассмотреть все то, что относится к производству поправок на взвешивание в воздухе, достаточно указать на то, что по ныне действующему закону, определенному указом 1835 г., русский основной платиновый фунт, хранящийся в Главной палате мер и весов, сделан «совершенно» согласно с бронзовым «фунтом С.-Петербургского монетного двора, сделанным в 1747 г.». Ныне этот последний неизвестен, но, судя по сочинению акад. Купфера (Travaux de la Commission pour fixer les mesures et les poids de l'Empire de Russie, 1841), нормальный русский фунт Комиссии, которая устанавливала (по указу 11 октября 1835 г.) действующие прототипы, имел удельный вес около 8.5 (l. c., t. II, стр. 358), а потому его объем был близок к 48.2 $см^3$ (или миллилитрам), существующий же платиновый прототип фунта имеет уд. вес около 20.5 (см.

статью 3-ю этого выпуска «Временника» *), следовательно, его объем близок к 20.0 см³. Поэтому при сличении указанных фунтов должно было делать поправку на взвешивание в воздухе, близкую к 0.034 г.; точность ее вполне зависит от сведений о весе литра воздуха. В отчете акад. Купфера (l. c., t. II, стр. 217) вес литра воздуха при 0° и 761.99 мм давления (30 англ. дюймов) принят для Петербурга равным (на основании данных Био и Араго) 1.304324 г. Это число должно быть, судя по вышеизложенному, заменено числом, близким к 1.2982 г,[1] и от этой одной неправильности поправок взвешиваний могла происходить неправильность сличения вышеуказанных фунтов, доходящая до 0.17 мг.

Это уже показывает, что в сличениях, произведенных акад. Купфером и доныне служащих основанием русской метрологической системы, должны существовать неточности в десятых долях миллиграммов, что определяется также и чувствительностью весов, которыми пользовались 50 лет сему назад, хотя для своего времени акад. Купфер и обладал превосходнейшими приборами. В самом законе, касающемся установления русского фунта (см. Торговый устав, изд. 1893 г., ст. 652—658), есть явное указание на то, что незначительные разницы веса, при установлении существующих прототипов, не были принимаемы во внимание. Действительно, в законе указано, что «кубический дюйм воды при $13^1/_3°$ Реомюра в безвоздушном пространстве весит 368.361 доли, или что объем российского фунта той же воды равен 25.019 куб. дюймов». Умножая 368.361 на 25.019, получаем, что вес фунта равен 9216.023859 доли, а так как, по самому условию, что фунт делится на 96 золотников, а золотник на 96 долей, очевидно, что в фунте содержится 9216 долей, то и несомненно, что разность, подобная 0.024 доли или (так как доля весит около 44.4 мг) близкая к 1 мг, считалась, во время установления ныне существующих узаконений, допустимою даже при установлении прототипов, т. е. впадающею в пределы погрешностей, неизбежных при взвешиваниях.[2] Так это и было действительно

---

* Ф. Завадский. Первый перечень образцовых гирь и мер длины, имеющихся в Главной палате мер и весов. Временник, ч. 1, 1894, стр. 89—102. [*Прим. ред.*].

[1] Принимая во внимание напряжение тяжести в Петербурге, содержание в воздухе углекислого газа и разность давления от 760 мм.

[2] Точно так же в указе о современных мерах емкости для жидкостей сказано, что ведро должно содержать 30 фунтов перегнанной воды

40—50 лет сему назад. Ныне же, когда возможно достижение большей точности взвешиваний, при возобновлении русских прототипов веса неизбежно необходимо принять во внимание все обстоятельства, возвышающие точность установления веса исходных прототипов, а потому, прежде чем приступить к возобновлению прототипов, неизбежно дать полный отчет о всех величинах, входящих в виде поправок взвешиваний.

2 февраля 1894 г. *Д. Менделеев.*

при $13^1/_3°$ Р, или 750.57 куб. дюймов. Умножая 750.57 на вес кубического дюйма воды, т. е. на 368.361 долей, получаем 276480.71577 долей, 30 же фунтов содержат 276 480 долей, т. е. здесь допущена погрешность около 0.716 доли (= 31.7 мг), считая, конечно, ее неизбежною при определении веса в 30 фунтов.

**Временник Главной палаты мер и весов, ч. 1, 1894, стр. 103.*

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ ИНСТРУКЦИИ О ВЫВЕРКЕ ТОРГОВЫХ МЕР И ВЕСОВ *

Под этим заглавием во «Временнике Главной палаты» помещаются три статьи, дающие понятие о состоянии весьма важного для страны предмета — выверки торговых и в практике применяемых мер.

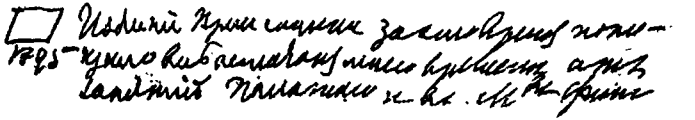
Сам по себе предмет этот подлежит ведению чинов Министерства внутренних дел, городских дум и тому подобных учреждений, на Главную же палату мер и весов возложены лишь: выверка образцовых мер, представляемых местными проверочными учреждениями, и составление инструкций для производства поверки мер и весов в местных проверочных учреждениях. Для того, чтобы удовлетворить основной указанной для Главной палаты цели, состоящей в соблюдении единообразия мер и весов в государстве, и чтобы получить подлинные данные о состоянии приемов выверки мер и весов, применяемых как в городских управах, так и в таких казенных и общественных учреждениях, каковы таможни, почтамты, железные дороги и т. п., которые по роду их дел должны быть снабжены выверенными мерами и весами, Главная палата мер и весов считала необходимым, прежде чем приступить к пересмотру существующих на сей предмет инструкций, получить ближайшие сведения о выверке мер и весов в соответственных местных учреждениях, находящихся в Петербурге и в главных торговых пунктах, расположенных на западной границе Империи, а потому инспекторы Палаты А. И. Скиндер и С. И. Ламанский, при первой возможности, несмотря на спешность других дел нового учреждения, озаботились о собрании материалов, необходимых

---

* Предисловие к статьям А. И. Скиндера и С. И. Ламанского (Временник, ч. 1, 1894, стр. 103 и сл.). [*Прим. ред.*].

для составления и дополнения существующих инструкций о выверке торговых мер и весов. Имея в виду как пользу, могущую проистекать от распространения сведений, собираемых в этом отношении гг. инспекторами Главной палаты, так и необходимость публикации отчета о работах Палаты, краткие извлечения из докладов инспекторов Палаты публикуются во «Временнике».

Управляющий Главною палатою.



1895 Издание Временника за это время поглощало весь остаток моего времени от занятий Палатою и в М[инистерст]ве фин[ансов.]

270 Вес опред. объема воды. Временн
часть 2-я 1895 год 1. 1033/5а

270. Вес опред[еленного] объема воды. Временн[ик], часть 2-я, 1895, стр. 1.
1033/5а

Временник Главной палаты мер и весов, ч. 2, 1895, стр. 3—52.

О ВЕСЕ ОПРЕДЕЛЕННОГО ОБЪЕМА ВОДЫ

В истории метрологии определение точного веса данного объема воды занимает одно из важных мест не только по причине великого значения воды во всей экономии природных отношений человечества, но и потому, что водою старались определить соотношение между единицами веса и мерами кубической емкости, т. е. единицами длины. Так, по английской системе с прошлого века принималось, а парламентскою комиссиею 10 апреля 1816 г. выражено, что кубический фут воды при $56^1/_2°$ Фаренгейта весит 1000 унций, или $62^1/_2$ фунта Avoirdupois;[1] по французской метрической системе с начала текущего столетия вес кубического дециметра воды, при наибольшей ее плотности, принят равным килограмму, а по русской системе 1835 г. единица веса, или фунт, не только выражен образцовым фунтом, равным с фунтом Монетного двора, сделанным в 1747 г., но определен еще и тем, что фунт воды (при взвешивании в безвоздушном пространстве) занимает при $13^1/_3°$ Реомюра объем 25.019 куб. дюйма.[2]

---

[1] Фунт торговый, носящий название «Avoirdupois», делится в Англии на 16 торговых унций. От них должно отличать монетные унции, Troy ounces, которые по весу отличаются от торговых унций, а именно последние представляют вес около 28.3495 г, а монетная унция весит около 31.1035 г. Монетный фунт (Troy) Англии (ныне он не имеет законной почвы, но прежде был узаконен, ныне узаконены лишь Troy ounces) содержит 5760 англ. гранов, торговый же — 7000 тех же гранов; первый делится на 12 монетных унций (каждая = 480 grains), второй, как сказано выше, на 16 торговых унций (каждая = $437^1/_2$ grains). Аптекарская унция в Англии равна монетной.

[2] Для ясности приводим из полного Собрания Законов именной указ 1835 г. 11 октября, данный Сенату, распубликованный 7 ноября 1835 г.: *О системе российских мер и весов:*

Пункт 2. «Принять за основную единицу Российского веса образцовый фунт, сделанный Комиссиею согласно с выведенным результатом,

Такой способ определения отношения между единицами веса и длины, представляя видимую простоту, однако, не удержался в науке до нашего времени по причине его недостаточной точности, так как при установке и сравнении даже единицы длины, не говоря уже об единицах веса, определяются точнее, чем отношения между весами воды и кубическими размерами предметов, в ней взвешиваемых. Так, например, метры, сравнительно простыми способами, устанавлюются с точностью ± 0.005 мм (до 5 μ, или микрон, т. е. тысячных миллиметра), т. е. с точностью до одной двухсоттысячной доли, даже и до десятимиллионной, а вес килограммов устанавливается еще точнее раз в 100 или даже в 1000 раз, так как погрешность взвешивания килограмма легко свести до ± 0.00005 г, и можно на современных весах доводить даже до ± 0.005 мг, вероятная же погрешность взвешиваний может доходить до ± 0.002 мг. Кубические же размеры долей метра представляют, несомненно, меньшую точность и при размере в 1 дм едва возможно достигать точности 0.002 мм, что дает уже погрешность в десятитысячных долях объема, т. е. в отношении веса определенного объема воды погрешность или сомнительность гораздо больше, чем для мер длины или веса. Мысль о том, чтобы, исходя из единиц длины, определить единицы веса, пользуясь весом известного объема воды, вообще очень

что Российский или Английский кубический дюйм воды при температуре $13^1/_3°$ Реомюра в безвоздушном пространстве весит 368.361 доли, или что объем Российского фунта той же воды равен 25.019 Английским кубическим дюймам: что составляет совершенное равенство с известным золоченым фунтом С.-Петербургского монетного двора, сделанным в 1747 году и служащим с того времени основанием Российской монетной системы».

Считаю долгом напомнить (см. Временник, ч. 1, стр. 88*), что приведенные в законе числа явно указывают на степень погрешности, допущенной в определении фунта при помощи воды, так как 368.361 при умножении на 25.019 дают величину большую, чем 9216 долей, т. е. большую, чем число долей в фунте, а именно 9216.023859, а потому истинный вес русского фунта должно определять по его прототипу, а не по весу известного объема воды, который, очевидно, приведен лишь как дополнительный, но не абсолютный, способ определения веса русского фунта. Такое же заключение вытекает из того, что при определении фунта в кубических дюймах воды даны лишь тысячные доли, следовательно десятитысячные, несомненно, считались определенными без достаточной точности, а одна десятитысячная доля кубического дюйма воды весит около 0.0368 доли фунта (или около 1.6 мг). А так как в определении веса прототипа фунта подобная погрешность в настоящее время должна быть считаема значительною, то и очевидно, что вес русского фунта определяется его прототипом, хранящимся в Главной палате мер и весов (см. Временник, ч. 1, стр. 89, п° 1).

* См. т. XXII, стр. 99. [*Прим. ред.*].

привлекательная на первый взгляд, не может быть считаема счастливою при современном положении метрологии уже потому, что весы представляют наиболее точный измерительный прибор, сличение же мер длины компараторами и даже оптическими способами представляет поныне меньше совершенств, как видно уже из того, что десятимиллионная доля мер этого рода, например $0.1\,\mu$ в метре, составляет предел достоверных измерений, очень трудно достигаемый даже в обстановке больших метрологических учреждений, десятимиллионная же доля веса, например 0.1 мг в килограмме, определяется быстро на хороших весах обычного устройства, а в больших метрологических учреждениях находятся десятые, сотые и даже тысячные доли миллиграмма.[1] Поэтому определение единиц веса, исходя из единиц длины, т. е. из объемов, не представляет достаточной точности. Поэтому ныне единицы веса вновь стали определять без выражения зависимости их от единиц длины, например — исходным пунктом при изготовлении международных метрических мер служили независимые сравнения, как метрических прототипов с архивным метром (mètre des Archives), так и килограммовых копий с архивным килограммом, не обращая внимания на вес дециметра воды. Что же касается до объемов, то они ныне, по международному соглашению, в метрической системе выражаются литрами, считая за литр не кубический дециметр, как предполагалось первоначально, а такой объем воды при наибольшей ее плотности, который

---

[1] Когда эта статья была уже готова, явилось в «Comptes Rendus» (№ 14, 8 апреля 1895 г., стр. 770) предположение г-на J. Macé de Lépinay (Sur la détermination de la masse du décimètre cube d'eau distillée) произвести определения объемного веса воды при помощи взвешиваний куба из однородного горного хрусталя, размеры которого можно найти чрез определение показателя преломления и оптических полос Тальбо, т. е. выражая линейные размеры длинами волн (подобно тому, как это сделано г-ном Михельсоном). В окончательном выводе, взвешивая различные погрешности определений этого рода, Macé de Lépinay приходит к заключению, что погрешность в объеме может не превосходить $\frac{1}{160000}$, что на 1 дм³ составит около 6 мг. Конечно, определение подобного рода очень желательно, но не должно забывать, что куб воды в 4 см представит вес около 64 г и что при гидростатическом взвешивании, соблюдая все предосторожности, едва можно довести точность взвешивания на лучших весах до десятых долей миллиграмма, а 0.64 мг составляют уже погрешность в $\frac{1}{100000}$, а потому трудно надеяться, чтобы точность определений значительно возросла противу ныне уже достигнутой (Купфером и Ченей) — при употреблении столь малых тел, как куб в 4 см.

имеет вес (в пустоте) в 1000 г, т. е. объемы определяются из веса вмещаемой воды, а не из линейных измерений, что бесспорно не только проще, ближе к действительной практике, но и много точнее. А так как веса определяются вообще точнее, чем измерения длины, то исходом для установления зависимости между весами и мерами длины правильнее было бы брать весовые единицы; например, по килограмму определять дециметр, чем обратно, как это делалось в прежних метрологических системах (например, определение килограмма по дециметру, фунта из дюймов, и т. п.). В будущем метрологии, быть может, к этому и придут, тем более, что понятие о массе (весе) вещества не только может быть совершенно точным, но несомненно реализуется прототипами явственнее и с меньшею погрешностью, чем в прототипах длины.[1]

Но как бы то ни было, хотя современные метрологические системы и не должны включать определения отношения между единицами веса и длины, тем не менее отношение это представляется необходимым установить с возможною точностью, потому именно, что реальная величина объема v, с одной стороны, стоит в простом геометрическом отношении к линейным измерениям, а с другой — явно и просто выражается весом p вмещаемого вещества, деленным на его плотность s:

$$v = \frac{p}{s}.$$

А так как за единицу для выражения плотностей ($s = 1$) условлено принимать вес равного объема воды при наибольшей ее плотности, то для метрологических целей требуется знать с возможною точностью вес геометрически, в единицах линейных мер, выраженного объема воды при наибольшей ее плотности.

Предмет предлагаемой статьи составляет описание и новый расчет наиболее известных и достоверных определений

---

[1] Меры длины имеют лишь ту выгоду, что представляют геометрическую простоту, меры же веса во всех отношениях определеннее. Так, например, температура, не влияя на геометрическую длину, изменяет реальную, а вес, относимый к пустоте, от нее не изменяется. Для прототипов длины нет полной уверенности в их неизменности, а для прототипов веса она имелась бы окончательно, если бы было окончательно доказано, что при некоторой температуре некоторые твердые вещества не имеют упругости паров, как есть температуры, при коих нет диссоциации в химическом смысле. Здесь, очевидно, предстоят еще многие, неразрешенные задачи.

именно этого веса: определенной кубической меры воды при наибольшей ее плотности. А так как метрическая система, хотя и не вполне точно, основана, между прочим (главное ее достоинство, конечно, состоит в том, что она, как счисление, — десятична), на том, что кубический дециметр воды при наибольшей ее плотности принимается весящим в пустоте 1000 г, следовательно кубический метр — 1000 кг, а кубический сантиметр — 1 г, что очень просто для всяких первоначальных (приближенных) соображений, и так как вообще метрические измерения наиболее ясны и удобны, то все дальнейшее изложение я считаю наиболее наглядным сводить к метрическим единицам, а именно выразить вес кубического дециметра в граммах. Для соотношения этих мер к русским и английским, при помощи которых произведены многие исследования, касающиеся искомого отношения, далее приняты эквиваленты, которые должно, судя по совокупности существующих сведений, принять ныне за наиболее близкие к действительности, а именно:

1 метр = 39.3700 ± 0.0001 англ. или русск. дюймам, по совокупности сличений Кэтера, Кларка и Титмана.

1 англ. торговый фунт (Avoirdupois) (= 16 ounces = 7000 grains) = 453.59243 г ± 0.00020, по новым определениям г-на Ченея, сообщенным мне в 1894 г.

1 русский фунт = 409.5120 ± 0.0005 г, судя по тому, что В. С. Глухов из определений Купфера вывел 409.51156 г, а сличения платинового прототипа с килограммом (см. далее «Перечень»*) дали 409.51236 г, с возможною погрешностью ± 0.2 мг.

Отсюда выводим:

1 дюйм (русский или английский) = 2.540005 см.

1 куб. дюйм = 16.38716 $см^3$.

1 англ. гран (английский торговый фунт содержит 7000 гранов) = 0.0647989 г.

1 русск. доля (1 русск. фунт, содержит 9216 долей) = = 0.0444349 г.

Этими эквивалентами я пользовался во всех дальнейших расчетах. Если они окажутся впоследствии немного иными, в пределе указанных погрешностей, то это не изменит окончательного вывода, потому что в нем содержатся погрешности гораздо большего относительно размера, особенно по

---

* Ф. Завадский. Второй перечень образцовых гирь и мер длины, имеющихся в Главной палате мер и весов. Временник, ч. 2, 1895, стр. 144—156. [*Прим. ред.*].

той причине, что действительная погрешность в определении линейных размеров была относительно гораздо большею, чем при сличении прототипов, особенно по той причине, что линейные размеры тел, применявшихся в исследованиях, были гораздо меньшими, чем у прототипов (каковы: аршин, ярд, метр и т. п.), а потому сверх других погрешностей в действительные измерения входили погрешности, зависящие от нахождения подразделений основных мер на части. Для суждения об этом в прилагаемой таблице дан свод сведений о линейных измерениях и объемах тех геометрически простых тел, которые взвешивались в воде для определения объемного веса воды. Из них n° 1, 2 и 3 относятся к 1798 г. по определениям Sir George Shuckburg Evelyn в Лондоне, n° 4 — по данным об определениях 1799 г. Lefèvre-Gineau в Париже, публикованным Траллесом в 1810 г., n° 5 и 6—по определениям акад. Купфера в 1844 г. в С.-Петербурге, а n° 7, 8 и 9 — по определениям H. J. Chaney в Лондоне, сделанным в 1888 г. и публикованным в 1893 г.

n°	Форма погруженного тела	Приближенные линейные размеры, в сантиметрах	Приближенный объем в кубических сантиметрах	Материал
1	Шар Шукбур	Диаметр 15.2	1860	Латунь
2	Куб »	Ребро 12.7	2033	»
3	Цилиндр »	Высота 15.2; диаметр 10.2	1229	»
4	» Жино	» 24.4; » 24.3	11280	»
5	» Купфер	» 8.0; » 7.9	396	»
6	» »	» 10.1; » 10.1	818	»
7	» Ченей	» 22.9; » 22.9	9386	Бронза
8	» »	» 7.9; » 7.8	378	Кварц
9	Шар »	Диаметр 15.2	1846	Латунь

Если назовем чрез Δ см возможную погрешность всякого компарирования линейных мер, то величину эту, для прошлого и даже для настоящего времени, едва ли можно считать меньшею, чем в 1 μ, или 0.0001 см, а потому такая погрешность повторится при всяком линейном измерении, по крайней мере, три раза, а именно: 1) при сравнении основной единицы длины, примененной в работе, с прототипом; 2) при подразделении этой основной единицы на части, и 3) при сравнении этих частей с линейными размерами

погружаемого в воду тела, а потому в линейных измерениях может накопляться погрешность примерно $\pm 3\Delta$.

Если же принять возможность такой погрешности в линейных размерах, то в объеме она будет абсолютно тем значительнее, чем более объем, потому что линейная погрешность взойдет в объемы, умноженною на поверхность. Так, например, для шара, диаметра $d \pm 3\Delta$, объем $= \frac{1}{6}\pi (d \pm 3\Delta)^3 = 0.5236 (d \pm 3\Delta)^3$, а так как Δ мало сравнительно с d, то приближенно объем $= 0.5236\, d^3 \pm 4.7\, d^2 \Delta$. Для куба, сторона которого $= a$, объем $= a^3$, и если в a есть возможная погрешность $\pm 3\Delta$, то объем $= (a \pm 3\Delta)^3$, а так как a велико сравнительно с Δ, то приближенно объем и погрешность в нем $(a \pm 3\Delta)^3 = a^3 \pm 9\Delta^2$. Для цилиндра, имеющего высоту h и диаметр d, объем $= 0.7854\, d^2 h \pm 2.36\, \Delta d\, (2h + d)$. Если же $\Delta = 0.0001$ см, то для n°4 величина этой погрешности объема будет $= \pm 0.42$ см^3, а для n°5 $= \pm 0.045$ см^3. Для других случаев получаются промежуточные значения этой абсолютной возможной погрешности. Но так как для результата, т. е. для определения веса одного объема воды, имеет значение лишь относительная погрешность (т. е. частное из абсолютной погрешности на объем), то в относительной ее величине во всех случаях будет меньшая разность. Так, для n°4 эта относительная погрешность $= \pm \frac{0.42}{11280} = \pm 0.000037$, а для n°5 $= \pm \frac{0.045}{396} = \pm 0.000113$. Средняя величина этой возможной относительной погрешности в измерении объемов для 9 указанных определений близка к ± 0.00005. Это показывает, что уже из-за одного того, что для определений брались сравнительно малые объемы (от $^1/_3$ до $11^1/_4$ *л*), в получаемых выводах можно ждать относительной погрешности ± 0.00005, т. е. для веса кубического дециметра разностей ± 0.05 г. Это заключение, выводимое при первом знакомстве с произведенными исследованиями, совершенно оправдывается при их ближайшем рассмотрении и вновь ясно показывает, что ни прежде не должно, ни ныне невозможно условливать единицы веса, как массы некоторого определенного объема воды. В действительности же, в определениях объемного веса воды, производимых способами, доныне применявшимися, можно ждать еще бóльших погрешностей, особенно по причине необходимости тщательного очищения воды, введения температурных поправок как для воды, так и для твердых тел, в ней взвешиваемых, и т. п.

Во время самого измерения температура тела не может быть ни совершенно постоянною, ни одинаковою с температурою при взвешивании в воде, а потому в объеме тела следует сделать поправки, в зависимости от коэффициента расширения материала. Но величина этой поправки невелика, как потому, что разность температур мала, так и по незначительности коэффициента расширения латуни, бронзы и горного хрусталя, из которых изготовлялись погружаемые предметы, а потому поправка эта не может значительно увеличить погрешность результата. Гораздо большее значение имеет поправка на температуру воды, тем более, что в большинстве определений взвешивание производилось при обыкновенной температуре (только у Жино около 0°), а в результате вес объема воды следует отнести к 4°, или к температуре наибольшей плотности. Однако сведения о расширении воды, подробно разобранные в моей статье 1891 г. (Журн. Русск. физ.-хим. общ., 1891, Физич. отд., стр. 183; перевод в Philos. Magaz., 1892, стр. 99), представляют для удельных весов воды при обыкновенных температурах неточности или разноречия лишь в стотысячных долях уд. веса, вывод же, вероятно, точен до миллионных долей, поэтому и здесь погрешности меньше, чем пределы погрешностей, зависящих от несовершенства в способах определения объемов погружаемых тел. Сверх того, средний регулированный вывод, сделанный мною для плотностей воды, в указанной статье, освобождается от погрешностей отдельных наблюдений, а потому представляет значительную вероятность, хотя чрез то и не устраняются неточности, зависящие от различий в показаниях *ртутных* термометров, которыми руководились все исследователи, как объемного веса воды, так и ее расширения. Но так как на показания ртутных термометров новейшие исследователи обращали немалое внимание и так как при выверенных (в обычном слове «точных») ртутных термометрах близ обыкновенных температур не встречаются разноречия, превышающие 0.03° Ц, то от поправки на температуру воды едва ли можно ждать большей погрешности, чем 0.03×0.00015, где последнее число представляет коэффициент изменения уд. веса воды при 15°. Это дает величину погрешности этого рода ± 0.0000045 гораздо меньшую, чем погрешность от определения объема твердого тела. Вследствие этого я полагаю, что температурные поправки не могут разъяснять разноречий в результатах, получаемых из данных разных исследователей, которые в достаточной мере объясняются неточностями, сопряжен-

ными с определением линейных размеров взвешиваемых тел и несовершенством очищения воды. А так как поправку на плотность воды при разных температурах все же приходится производить, то я привожу общую формулу

$$s_t = 1 - \frac{(t-4)^2}{1.9\,(94.1+t)\,(703.5-t)}$$

для выражения зависимости между температурою t ртутного термометра Цельзия и плотностью воды s_t, которой держался во всем остальном изложении. По ней получаются следующие значения для плотности воды:

$t°$ Ц	Плотность воды s_t	$\frac{ds}{dt}$, или изменения s_t при возрастании температуры на 1° Ц	$t°$ Ц	Плотность воды s_t	$\frac{ds}{dt}$, или изменения s_t при возрастании температуры на 1° Ц
0°	0.999873	+0.000065	15°	0.999152	—0.000148
4	1.000000	0	16	0.9989991	—0.000159
5	0.999992	—0.000015	17	0.998834	—0.000171
10	0.999738	—0.000086	18	0.998657	—0.000181
11	0.999646	—0.000099	19	0.998470	—0.000193
12	0.999541	—0.000111	20	0.998272	—0.000203
13	0.999424	—0.000124	25	0.997128	—0.000254
14	0.999294	—0.000136			

При пользовании этою таблицею не должно упускать из вида, что температуры t определяются здесь по показанию ртутного термометра, калиброванного на части равного объема и проверенного в отношении показаний 0 и 100°, но не приведенного затем к показанию воздушного (водородного) термометра, как это делается ныне в отношении к температурным показаниям.[2] Таковы же и температуры, наблюденные при исследовании объемного веса воды.

---

[1] При $t = 16^2/_3$° Ц, или $131/_3$° Р, или 62° Ф (нормальная температура для метрологических единиц России и Англии) $s_t = 0.998890$.

[2] Сведения о расширении воды при определении температур по *водородному* термометру принадлежат лишь к последнему времени и еще не вполне публикованы, а потому и не могут быть приняты к руководству. Притом данные Тизена (Procès verbaux. Comité Intern. des Poids et Mesures, séances 1892, стр. 147), гидростатически взвешивавшего горный хрусталь в воде, не вполне согласны с данными Шаппюи (ibid.), кото-

При определении объемного веса воды, сверх линейных измерений погружаемого в воду тела и взвешивания его в воде, неизбежно было производить взвешивания в воздухе, а потому для получения результата необходимо вводить поправку на вес вытесненного воздуха. Эта поправка сама по себе велика (составляет около 1.2 г на литр воды), но ее изменения не особенно значительны, хотя все же явно влияют на вывод, а потому, основываясь на статье «О весе литра воздуха» (Временник, ч. 1, ст. 2, стр. 57—88*), я ввел следующие однородные основания для расчета поправок на взвешивание в воздухе:

1) Напряжение тяжести g для Лондона принято 9.8126, для Парижа 9.8100 и для Петербурга 9.8188.

2) Вес литра сухого воздуха, лишенного углекислоты, при 0° и 760 мм принят $=0.131844\ g$ г, а потому для Лондона $e_0=1.29373$, для Парижа $e_0=1.29339$ и для Петербурга $e_0=1.29455$ г.

3) Хотя в свободном атмосферном воздухе содержание углекислого газа не превосходит трех десятитысячных по объему, но в лабораториях и жилых помещениях оно всегда выше и редко бывает менее $4^1/_2$ десятитысячных по объему, так что следует принять, по крайней мере, 4 десятитысячных по объему. А как литр CO_2 весит при 0° и 760 мм около 1.97 г, то следует принять, что вес литра воздуха e_0 от содержания углекислоты возрастает не менее как на 0.00027 г, а потому вес литра сухого воздуха, содержащего CO_2, при 0° и 760 мм для Лондона $e_0=1.2940$, для Парижа $e_0=1.2937$ и для Петербурга $e_0=1.2948$ г.

рый пользовался дилатометрическим стеклянным сосудом, запертым слоем ртути, но также еще не публиковал подробных отчетов:

Температура по водородному термометру	Плотности воды, разочтенные Шаппюи из определений Тизена	Плотности воды, разочтенные мною из определений Шаппюи
0°	0.9998696	0.9998685
5	0.9999916	0.9999918
10	0.9997296	0.9997280
15	0.9991290	0.9991285
20	0.9982327	0.9982322
30	0.9956731	0.9956782

Различия этих чисел от выведенных выше определяются преимущественно различием температур по ртутному и водородному термометрам.

* См. т. XXII, стр. 57. [*Прим. ред.*].

4) Если при взвешивании наблюдено давление H_0 мм (приведенное к 0° ртути), упругость пара h мм и температура $t°$ Ц, то, принимая плотность водяных паров (не насыщающих пространство) равною 0.63 (если плотность воздуха = 1), вес литра воздуха

$$e_0 = e_0 \frac{H_0 - 0.37\,h}{760\,(1 + 0.00367\,t)}.$$ [1]

Предпослав предшествующие общие замечания, затем мы рассмотрим с возможною подробностью определения, произведенные Шукбуром, Жино, Купфером и Ченеем, не входя в разбор других данных, потому что в них или не было уверенности в точном сличении мер и весов с прототипами, или взяты были столь малые объемы (например у Штампфера), что при пользовании ими нельзя надеяться на получение сколько-либо точного результата.

---

1. Первые точные исследования о весе определенного объема воды произвел сэр **Георг Шукбур-Эвелин** (Sir George Shuckburgh Evelyn, Bart. F. R. S. and A. S.) и опубликовал о них отчет в «Philosophical Transactions» (1798, стр. 133—182) под названием «An Account of some Endeavours to ascertain a Standard of Weight and Measure» (Read Febr. 22, 1798, Royal Society, London). В 1780 г. Шукбур предложил укрепить меру длины ярда — изучая длину секундного маятника и выразив ее в дюймах, а единицу веса — определением веса кубического дюйма чистой воды, и затем несколько лет занимался получением данных, сюда относя-

[1] Для упрощения расчета, при давлениях, близких к обычным (от 730 до 780 мм), и при температуре около 14—22° Ц, можно применять упрощенные равенства:

для Петербурга: $e = 1.2067 + 0.0016\,[H' - 755 + 2.6\,(18 - t)]$;

для Лондона: $e = 1.2059 + 0.0016\,[H' - 755 + 2.6\,(18 - t)]$;

для Парижа: $e = 1.2057 + 0.0016\,[H' - 755 + 2.6\,(18 - t)]$,

где $H' = H_0 - 0.37h$. Погрешность от такого сокращенного расчета в указанных условиях не превосходит ± 0.0003 г на литр, а так как в самом определении веса литра воздуха нет большей уверенности, как до ± 0.0001 г, и в температуре воздуха легко может вкрасться ошибка в сотых долях градуса, то для взвешиваний предметов, меньших литра, указанный способ расчета может быть применяем. Если e есть вес литра в граммах, то вес кубического дюйма в долях русского фунта $= e \cdot 0.3688$, а в английских гранах $= e \cdot 0.2529$.

щихся. В указанной статье сведено все, что относится до веса дюйма воды. Способ, примененный для этого Шукбуром, состоял в определении потери веса при погружении в воду геометрически правильных тел, внешний объем которых определялся по их линейным размерам. Этот самый способ употреблялся затем и всеми другими исследователями. Таких геометрически простых тел взято три: цилиндр, шар и куб. Материал — латунь (brass). Для определения линейных измерений служил особый станок, в который вкладывалось тело, затем накладывался обхватывающий хомут с микрометрическим винтом, на котором и отсчитывалось показание при доведении до прикосновения. Затем вместо тела в тот же хомут вкладывалась линейка, имеющая между концами размер, выраженный определенным числом дюймов (4, или 5, или 6), и тем же микрометром определялась длина линейки. Эта линейка предварительно сравнивалась при помощи компаратора с копиею ярда Траутона, на котором нанесены и выверены дюймы, а этот ярд сравнивался с узаконенным ярдом (сделанным Bird'ом). Измерения, повидимому, всегда повторялись, но даем лишь средние, не считая надобным входить во все подробности измерений, тем более, что некоторых данных (например температуры при компарировании куба и цилиндра) у Шукбура не сообщено. Притом капитан Кетер, столь известный многими своими метрологическими исследованиями, найдя тела Шукбура в полной сохранности, в 1821 г. (Philos. Transact., 1821, P. II, стр. 316. Capitain Henry Kater. An account of the remeasurement of the cube, cylinder and sphere used by the late Sir George Shuckburgh Eveleyn in the enquiries respecting a standard of weight and measure) вновь перемерял все три тела Шукбура. Результаты измерений обоих исследователей считаю полезным сообщить единовременно:

1) Для куба верхнее основание в четырех направлениях дало Шукбуру [в дюймах]; 4.9886, 4.9885, 4.9895 и 4.9887. Нижнее основание [в дюймах]: 4.9894, 4.9902, 4.9898 и 4.9888. Высота куба по четырем углам [в дюймах]: 4.9890, 4.9895, 4.9893, 4.9892. Прямизна поверхностей куба проверена чрез отражение. На основании этих измерений Шукбур принял объем куба = 124.18917 куб. дюйма. Погрешность линейных измерений оценивается автором никак не более, чем в ± 0.005 дюйма, в объеме не более 0.03 куб. дюйма. Для того же куба Кетер дает средние линейные размеры при 62° Ф: 4.98911, 4.98984 и 4.98935 дюйма, исходя из прототипного ярда 1760 г., а потому принимает при 62° Ф объем

куба = 124.1969 куб. дюйма. Этот вывод лишь на 0.0077 куб. дюйма более, чем Шукбура, а потому средний объем куба мы принимаем равным **124.193** куб. дюйма. Погрешность едва ли более ±0.020 куб. дюйма.

2) В объеме цилиндра у Шукбура (74.948 куб. дюйма) и Кетера (75.24) получилась разница гораздо бóльшая, чем для куба, как по абсолютной, так и по относительной величине, но она, как увидим, произошла лишь от погрешности расчета, произведенного Шукбуром. Для двух взаимно перпендикулярных диаметров одного из оснований цилиндра Шукбур нашел 3.9973 и 3.9976 дюйма, а для другого основания 3.9986, 3.9971 дюйма. Отсюда общее среднее для диаметра 3.99765 дюйма, а Кетер нашел 3.99713 дюйма. Для высоты цилиндра по четырем концам диаметров Шукбур дает [в дюймах]: 5.9951, 5.9953, 5.9953 и 5.9944, а потому принимает среднее: 5.9950 дюйма; Кетер же дает среднюю высоту 5.9960 дюйма. На основании своих измерений Шукбур принимает объем цилиндра равным 74.94823 куб. дюйма, но при этом он ошибся в расчете, потому что, если диаметр $d = 3.99765$ дюйма и высота $h = 5.9950$, то объем цилиндра равен 75.2473 куб. дюйма. Кетер же из своих определений выводит при 62° Ф объем = 75.2398 куб. дюйма. Здесь опять разность объемов не велика, но измерения Кетера дали меньший (на 0.0075 куб. дюйма, для куба — больший) объем, а потому для цилиндра мы примем средний объем **75.243** куб. дюйма. Погрешность этого числа опять едва ли менее чем $\frac{1}{10000}$ всего объема.

3) Шар Шукбура, приготовленный также из латуни, имел при диаметре около 6 дюймов толщину стенок 0.13 дюйма (около 3.3 мм), что делало его достаточно прочным, но все же настолько легким, что он едва тонул в воде. Все данные (в том числе и температуры как линейки, так и шара), полученные Шукбуром при измерении шара, подробно приведены им, и в результате измерения 9 диаметров получен для температуры 62.6° Ф средний диаметр = = 6.00745 дюйма, с погрешностью (по Шукбуру) не более ±0.00010 дюйма. Отсюда Шукбур находит объем шара = = 113.5194 куб. дюйма. (вернее 113.5191). Кетер для того же шара и для температуры 62° Ф нашел средний диаметр 6.00759 дюйма и объем = 113.5264. Если принять коэффициент кубического расширения латуни на 1° Ф = 0.00003, то данные Шукбура для 62° Ф дают объем шара = 113.5174 куб. дюйма, т. е. явно меньший, чем дает Кетер, разность,

однако, не более 0.0090 куб. дюйма. На основании этого можно принять, что объем шара при 62° Ф = **113.522** куб. дюйма. Здесь опять можно принять погрешность едва ли меньшую 0.01 куб. дюйма или около $\frac{1}{10000}$ всего объема.

Вышенайденные средние объемы куба, цилиндра и шара мы будем считать относящимися к 62° Ф, как это в действительности и должно признать для всех определений Кетера, а при других температурах $t°$ Ф объем тел будем находить, принимая коэффициент кубического расширения латуни (на 1° Ф) равным 0.00003, т. е.

$$V_t = V_{62}[1 + 0.00003(t - 62)].$$

Хотя такой расчет содержит в себе некоторые произвольные допущения, но за недостатком сведений о расширении латуни взятых тел, вследствие небольшого удаления температуры всех определений от 62° Ф, а также по причине небольшой степени точности измерений (до $\frac{1}{10000}$ объема) чрез такой расчет не может накопиться значительной погрешности, которая будет гораздо большею, если объемы вовсе не исправлять на температуру. А так как в мемуаре Шукбура нет полных указаний на соблюдение постоянства температур при наблюдении линейных измерений куба и цилиндра, то сверх расчета по средним вышеуказанным объемам, мы будем производить расчет по данным Кетера, принимавшего температурные поправки. Объемы в кубических дюймах:

	Средний при 62° Ф	По Кетеру при 62° Ф	Поправка на 1° Ф
Куба	124.193	124.1969	0.0037
Цилиндра . .	75.243	75.2398	0.0023
Шара	113.522	113.5264	0.0034

После изложения данных, относящихся к объемам тел Шукбура, мы подробнее остановимся на взвешиваниях, им произведенных. Здесь следует прежде всего заметить: 1) что Кетер не повторял взвешиваний Шукбура, считая, что в них нельзя ждать ошибок или неточностей того

порядка, как в определении объемов, 2) что Траутонов разновес, примененный Шукбуром, был проверен лишь мастером по взаимному отношению гирь, а Шукбуром сличен с прототипами английского веса, причем оказалось, что гири Траутона легче парламентских прототипов, а именно 5760 истинных гранов (или прототип Troy pound), в среднем, весили 5763.78 грана Траутона, а потому все веса, наблюденные этими последними гирями, должно разделить на 1.000656 (поправку эту мы вводим лишь после изложения непосредственных результатов взвешиваний), и 3) что удельный вес материала гирь Шукбуром не определялся, но в его исследовании (стр. 150) дан уд. вес латуни, служившей для подвесок при погружении в воду, а именно для одного образца 8.62, для другого — 8.78, среднее 8.7, и я считаю возможным, при введении поправок на взвешивание в воздухе, принять, что и гири Траутона имели уд. вес 8.7. Из сказанного видно, что во взвешиваниях Шукбура можно подозревать немалую погрешность, долженствующую влиять на результат, но ее меру нельзя определить даже приближенно. Эта неизвестность погрешности, зависящей от взвешиваний, увеличивается тем, что о способах очищения воды Шукбур не упоминает, что в сумме дает его исследованиям, имеющим значение как исторически первая попытка получения точных данных, лишь небольшое современное значение, так как погрешность от самих взвешиваний едва ли менее ± 0.25 г на литр.

Для взвешиваний служили весы, доведенные до большой точности (но данных для убеждения в этом не приведено) и чувствительности, одно колебание длилось 50 секунд, разность в 1/100 грана (около 0.65 мг) при пустых чашках производила уклонение на 3 деления шкалы, а при нагрузке в 17 280 гранов (=3 монетных фунта) на 0.5 деления, так что во всех взвешиваниях, производившихся в воздухе, определялись сотые доли грана, но при взвешивании тел в воде можно было определять лишь десятые грана.

Взвешиваемый предмет клался на правую чашку, а гири — на левую чашку, которая имела вес 413.40 грана Траутона (которые будут впредь обозначены «г. Т.»). Когда эта чашка была на своем месте, а на правом плече помещена подвеска, служащая для взвешивания тел (куба и цилиндра; данные для шара изложены далее, особо), то равновесие получалось при добавке на левую чашку:

	В воздухе 63° Ф, при давлении 29.36 дюйма	В воде при 61° Ф
Подвеска для куба . .	555.02 г. Т.	442.75 г. Т.
» » цилиндра	552.34 » »	441.68 » »

При взвешивании в воде пустых подвесков, тонкие проволоки, соединяющие их с коромыслом, не всегда были погружаемы в воду настолько же, насколько при взвешивании в воде тела, положенного на подвеску, а потому в некоторых взвешиваниях Шукбур вводит на это поправку, которую мы должны прямо заимствовать от него, потому что необходимые для расчета элементы (глубины погружения проволок) в мемуаре не всегда содержатся, и только дается вес дюйма длины проволоки = 0.077 г. Т.; проволок же в подвесках было 4 (для куба и цилиндра) или 3 (для шара).

При взвешивании куба и цилиндра в воздухе температура была 62.0° Ф, показание барометра 29.0 дюйма, наблюденный же вес, сверх вышеуказанного веса подвесок (555.02 и 552.34 г. Т.), был для куба = 32084.82 г. Т., а для цилиндра 21560.05 г. Т.

При взвешивании куба и цилиндра в воде, барометр показывал 29.47 дюйма, температура же воды была во время взвешивания куба 60.2° Ф, а при взвешивании цилиндра 60.5° Ф. Вес куба в воде, с небольшою (+ 0.08 г. Т.) поправкою на длину погруженной проволоки и за вычетом веса подвески (442.75 г. Т.) равнялся 703.03 г. Т. Для цилиндра с такими же поправками (+ 0.05 и — 441.68) = = 2549.17 г. Т. При повторении этого последнего взвешивания, когда были удалены небольшие пузырьки воздуха, приставшие на поверхности цилиндра, а температура воды и показание барометра остались те же, получено 2553.22 г. Т. Это последнее число и взято Шукбуром (и далее нами) для дальнейших выводов, которые Шукбур делает, прямо находя потерю веса при погружении в воду и затем разделяя эти числа (для куба 31381.79, а для цилиндра 19006.83 г. Т.) на объем соответственного тела, чтобы найти вес [кубического] дюйма воды в воздухе. Полученные им числа (вес кубического дюйма воды по кубу 252.694 и по цилиндру 253.600 г. Т.) не имеют для нас значения, не только потому, что в расчете объема цилиндра, как

показано выше (стр. 117), Шукбур сделал ошибку, но и потому, что температура воды была разною, и поправку на вес вытесненного воздуха сделать необходимо. При введении этих поправок необходимо сделать следующие, едва ли далекие от истины, предположения: 1) плотность гирь и подвесок считать одинаковою и = 8.7; 2) барометрический отсчет считать произведенным при температуре воздуха по латунной шкале и 3) упругость паров воды в воздухе считать равною 0.7 противу насыщенного состояния. Так, например, при взвешиваниях:

	Даны		Температура Цельзия	H_0	Упругость пара	Вес литра воздуха, в граммах	1 куб. дюйм, в гранах Траутона
	t, по Фаренгейту	b*, в дюймах		в миллиметрах			
Подвесок .	63°	29.36	17.2°	743.1	10.2	1.183	0.2992
Тела в воздухе .	62	29.0	16.7	734.1	9.9	1.172	0.2963
» в воде	60.4	29.47	15.8	746.0	9.3	1.195	0.3022

Найдя вес литра воздуха в граммах, получим вес его в гранах Траутона, разделяя на 0.06484, а вес кубического дюйма воздуха получится (если принять литр равным 1000 см³, что недалеко от истины) чрез разделение найденного числа на 61.027; так получены числа последнего столбца. Если заметим сверх того, что кубический дюйм воды весит около 253 г. Т., а кубический дюйм латуни, при удельном весе 8.7, весит около 2200 г. Т., то получим возможность исправить все предшествующие взвешивания в отношении веса вытесненного воздуха.

Вес левой чашки (413.4 г. Т.) отвечает объему около 0.188 куб. дюйма, подвески для куба (413.40 + 555.02 г. Т.) — около 0.188 + 0.252 куб. дюйма, подвески для цилиндра (413.40 + 552.34 г. Т.) — около 0.188 + 0.251 куб. дюйма. Тот же объем имеют и гири, выражающие этот вес, так как латунь тех и других мы предположили одинаковою. Следовательно, вес левой чашки и подвесок есть вес в пустоте. Но когда взвешивалась подвеска для куба в воде, тогда на левом плече был объем чашки 0.188 куб. дюйма и объем гирь в 442.75 г. Т., равный 0.202 куб. дюйма, всего

* Отсчет по барометру. [*Прим. ред.*].

0.390 куб. дюйма, а на правом объем подвески (около 0.440 куб. дюйма), почти весь погруженный в воду, и только ничтожная верхняя часть подвески оставалась на воздухе.[1] Следовательно, истинный вес подвески куба при взвешивании в воздухе = 413.40 + 555.02 = 968.42 г. Т., а когда эта подвеска погружена в воду, то для ее уравновешения требуется в пустоте груз 413.40 + 442.75 — 0.2992·0.390 (где 0.2992 есть соответственный вес кубического дюйма воздуха) = 856.03 г. Т., а потому потеря веса этой подвески от погружения в воду = 968.42—856.03 = 112.39 г. Т. Точно так же для подвески цилиндра находим истинный вес в воздухе при взвешивании 965.74, при взвешивании в воде 441.68 + 413.40 — 0.2992 × 0.389 = 854.96 г. Т., а потеря веса в воде = 110.78 г. Т. Температура воды при этих взвешиваниях была 61° Ф = 16.11° Ц; при ней уд. вес воды = = 0.998981, а потому при другой температуре, когда уд. вес воды будет s, потеря веса от погружения в воду будет для:

Подвески куба = s·112.506
цилиндра = s·110.893

Истинный же вес их 968.42 и 965.74 г. Т.

При взвешивании куба (объем = 124.193 куб. дюйма) в воздухе на левой чашке лежал груз 32084.82 г. Т., его объем = 14.584 куб. дюйма, и противовес 555.02 г. Т., его объем = 0.252 куб. дюйма. Сверх того, объем левой чашки = = 0.188 куб. дюйма. Следовательно, слева был объем = = 15.024 куб. дюйма. На правой стороне подвеска занимала объем 0.440 куб. дюйма, а куб 124.193 куб. дюйма; следовательно, весь объем направо = 124.633 куб. дюйма. Следовательно, вес куба в пустоте = 32084.82 + 0.2963 (124.633 — — 15.024), где 0.2963 есть соответственный вес кубического дюйма воздуха, а потому вес куба в пустоте = **32117.30** г. Т. Точно так же найдем, что истинный вес цилиндра (кажущийся = 21560.05 г. Т., объем цилиндра 75.243 куб. дюйма), равен **21580.44** г. Т.

При взвешивании куба в воде, имевшей температуру 60.2° Ф = 15.67° Ц, чему отвечает s = 0.999051, на левом плече были:

---

[1] Не зная веса и объема этой части подвески, нельзя включить ее в расчет, но такое упущение не влечет за собою заметной погрешности в окончательном результате, потому что при взвешивании в воде подвески с кубом опять сделано такое допущение.

	Истинный вес, в гранах Траутона	Объем, в кубических дюймах
Чашка	413.40	0.188
Противовес подвески	442.75	0.201
Груз	703.03	0.320
	1559.18	0.709

Этот объем погружен в воздух, для которого вес кубического дюйма = 0.3022, следовательно действительный вес левой стороны был = 1559.18 — 0.21 = 1558.97 г. Т.

На правой стороне были погружены в воду подвеска, которой вес в воде = 968.42 — s · 112.506 = 856.02 г. Т., и куб. Следовательно, вес куба в воде = 1558.97 — 856.02 = = **702.95** г. Т.

При взвешивании цилиндра в воде, когда t = 60.5° Ф = = 15.83° Ц и s = 0.999026, на левом плече:

	Истинный вес, в гранах Траутона	Объем, в кубических дюймах
Чашка	413.40	0.188
Противовес	441.68	0.201
Груз	2553.22	1.160
	3408.30	1.549

Следовательно, вес налево = 3407.83 г. Т. Вес подвески в воде = 965.74 — s · 110.893 = 854.96, а потому вес цилиндра в воде = 3407.83 — 854.96 = **2552.87** г. Т.

Таким образом оказывается, что:

Истинный вес куба	= 32117.30 г. Т.
Погруженного в воду 60.2° Ф . . .	= 702.95 » »
Вес воды 60.2°Ф равного объема ·	31414.35 г. Т.
Уд. вес воды	0.999051

Следовательно, вес воды при ее наибольшей плотности, отвечающей объему куба = 31444.21 г. Т. А так как *средний* (Шукбур и Кетер) объем куба = 124.193 — (62—60.2) 0.0037 = = 124.186 куб. дюйма, то вес одного кубического дюйма воды при ее наибольшей плотности = **253.2026** г. Т.

Точно так же для цилиндра:

Истинный вес	= 21580.44 г. Т.
Погруженного в воду 60.5° Ф . . .	= 2552.87 » »
Вес воды 60.5° Ф равного объема .	= 19027.57 » »
Уд. вес воды	= 0.999026 » »
Вес воды при наибольшей плотности	= 19046.12 » »
Вес 1 куб. дюйма воды при наибольшей плотности	= **253.1382** г. Т.

так как *средний* объем цилиндра при 60.5° Ф = 75.240 куб. дюйма. Разность обоих определений, равная 0.0644 г. Т., заметно уменьшается, если вместо средних объемов взять лишь более достоверные определения одного Кетера, по которым объем куба при 60.2° Ф = 124.1969 — 0.0067 = = 124.1902 куб. дюйма, а отсюда вес в пустоте 1 куб. дюйма воды при ее наибольшей плотности = **253.1940** г. Т. Объем цилиндра при 60.5° Ф по определениям Кетера = = 75.2398 — 0.0035 = 75.2363 куб. дюйма, отсюда вес кубического дюйма воды при 4° в пустоте = **253.1507** г. Т. Разность полученных чисел = 0.0433 г. Т., гораздо менее, чем при расчете по средним объемам. Но для окончательного вывода из определений Шукбура — Кетера необходимо обратиться к расчету данных для шара, тем более, что для его взвешиваний у Шукбура дано более данных, чем для куба и цилиндра, и сам автор считает наблюдения для шара наиболее надежными во всех отношениях.

Шукбур произвел три ряда взвешиваний шара: I — 12 июня 1797 г., II — 16 июня и III — 16 июня того же года и получил следующие числа в гранах Траутона:

	I	II	III
Показание барометра, в дюймах . .	29.74	30.13	29.74
Температура воздуха, по Фаренгейту	67°	68°	67°[1]
a) Направо: подвеска в воздухе, налево: чашка и + (в гранах Траутона)	276.10	544.03	544.03
b) Направо: шар на подвеске в воздухе, налево: чашка, противовес и + (в гранах Траутона)	28722.64	28721.88	28722.42

[1] Для этого опыта Шукбур не дает прямых наблюдений барометра и t воздуха, а наблюденный в воздухе вес шара уже сам поправляет, приводя к указываемым условиям давления и температуры воздуха, равным с I определением.

	I	II	III
c) Направо: подвеска в воде,[1] налево: чашка и + (в гранах Траутона) .	253.32	434.89	434.65
Температура воды, по Фаренгейту .	66°	66.1°	66.4°
d) Направо: подвеска и шар в воде, налево: чашка и + (в гранах Траутона)	303.27	484.70	484.20
Температура воды, по Фаренгейту .	66°	66.1°	66.4°
Погружение центра шара под уровнем воды, в дюймах	5.6	3.7	6.8

По тем же способам расчета, как и ранее, отсюда получаем:

	I	II	III
Вес кубического дюйма воздуха, в гранах Траутона	0.301	0.304	0.301
Истинный вес шара, в гранах Траутона	28756.71	28756.39	28756.49
Вес его в воде, в гранах Траутона .	49.95	49.81	49.55
Вес (в пустоте) вытесненной воды, в гранах Траутона	28706.76	28706.58	28706.94
При температуре Фаренгейта . . .	66.0°	66.1°	66.4°
Уд. вес воды	0.998493	0.998482	0.998449
Вес (в пустоте) вытесненной воды при наибольшей ее плотности, в гранах Траутона	28750.09	28750.22	28749.54
Считая средний объем шара, в кубических дюймах	113.536	113.536	113.537
Вес кубического дюйма воды 4°, в пустоте, в гранах Траутона . .	**253.2244**	**253.2256**	**253.2174**
Объемы шара по Кетеру, в кубических дюймах	113.5400	113.5403	113.5414
Вес куб. дюйма воды 4°, в пустоте, в гранах Траутона	**253.2155**	**253.2160**	**253.2076**

Эти последние числа, как отвечающие более поздним измерениям Кетера и более близкие к выводу, полученному для куба и цилиндра, заслуживают более доверия, чем числа, полученные при помощи средних объемов. Сопоставляя полученные веса кубического дюйма воды при наибольшей ее плотности, имеем:

Так как объемы тел сравнительно мало между собою различаются, то я считаю возможным придать каждому из

---

[1] Если погружение в воду подвески было (в II и III) иное, чем при взвешивании с шаром, то соответственная поправка введена здесь, она была = — 20 г. Т. в II и = — 0.44 г. Т. в III, в I она = 0, т. е. погружение было одинаково.

	Объем, в кубических дюймах около	Температура воды при наблюдениях, по Фаренгейту	Вес кубического дюйма воды при 4°, в пустоте, в гранах Траутона
Куб	124.2	60.2°	253.1940
Цилиндр	75.2	60.5	253.1507
Шар I определение . .	113.5	66.0	253.2155
II »	113.5	66.1	253.2160
III »	113.5	66.4	253.2076

этих чисел одинаковую вероятность.[1] Поэтому получаем как средний вес в пустоте кубического дюйма воды при ее наибольшей плотности: 253.1968 г. Т. В парламентских (прототипах) гранах этот вес равняется

253.0308 грана,

или 16.39612 г. Отсюда следует: 1) что кубический дециметр воды, при наибольшей ее плотности, в пустоте весит около 1000.55 г; 2) что кубический дюйм воды при 62° Ф (нормальная температура для мер длины в Англии и России), когда уд. вес воды = 0.998890, весит в пустоте около 252.752,[2] а в воздухе около 252.4 грана.[3]

Что касается до погрешности *возможной*, по сущности опытов, в вышеприведенных числах, то разность двух крайних определений (цилиндра и шара, II определение) равняется 0.065 грана на кубический дюйм, что составляет на кубический дециметр около 0.27 г. Эту погрешность должно приписать преимущественно взвешиваниям. Но сверх того от определений объемов могли взойти не только случайные, но и систематические погрешности, а от нечистоты воды все числа будут более действительных. Неполную чистоту взятой «перегнанной» воды заметил и сам Шукбур (стр. 155) и определил даже (гидрометром) ее плотность = =1.0005 (но по отношению к какой воде — неизвестно). Это составляет 0.5 г. на кубический дециметр. Поэтому в результате должно сказать, что определения Шукбура дают вес кубического дециметра воды, в пустоте, при 4°: среднее

[1] Тем более, что взвешивания куба (его объем наибольший) были первыми, а взвешивания цилиндра, объем которого был наименьший, повидимому, заслуживают наибольшего доверия.

[2] Кетер вывел для 62° Ф 252.722 грана.

[3] Шукбур вывел 252.422 — в воздухе, при 66° Ф.

1000.55 г, с неменьшею погрешностью, как ± 0.72 г. Но так как вода, почти наверное, была плохо очищена, то полученное среднее число, по всей вероятности, выше действительности. Все последующие определения дали меньшие числа, но в указанном пределе. Таким образом, исторически первые определения Шукбура дали вес кубического дециметра уже довольно точно, но возможная в них погрешность велика, и есть много поводов полагать, что истинное число ниже среднего и лежит для дециметра в пределе от 1000 до 999.8 г.

II. Второе, классическое, определение объемного веса воды произведено было **Лефеврам-Жино** во Франции в эпоху (около 1799 г.) установления оснований метрической системы, и оно послужило средством для приготовления прототипа килограмма, т. е. его результат выражается тем, что кубический дециметр воды при наибольшей плотности принят весящим 1000 г. Но во время Жино ни поправки на вес воздуха, ни расширение воды и т. п. не были достаточно известны, а потому истинный результат измерений Жино немного иной, чем найденный им, и мы обратимся к его нахождению. К сожалению, подлинные наблюдения Жино не публикованы, и приходится лишь руководствоваться докладом Траллеса, помещенным в «Base du Systéme métrique décimale» (t. III, 1810, стр. 558—580) под заглавием «Rapport de M-r Tralles à la Commission sur l'unité de poids du système métrique, décimale d'après le travail de M-r Lefèvre-Gineau (le 11 prérial, an 7, т. е. 31 мая 1799 г.). Доклад этот сам по себе составлен обстоятельно и подробно и сверх того он отчетливо разобран (в 1874 г.) известным норвежским метрологом Брохом (D-r O. J. Broch), который долгое время действовал в Международной метрической комиссии, а именно в статье (Procès Verbaux de Comm. Intern. d. mètre, 1873—1874, стр. 122—140): «Note sur la détermination, par M-r Lefèvre-Gineau, du poids du décimètre cube d'eau au maximum de densité et dans le vide», что облегчает нашу задачу, хотя и не устраняет ее.

Для определений взят был латунный цилиндр (работы Фортена), гораздо большего размера, чем у Шукбура и всех последующих исследователей. Цилиндр этот и поныне цел и хранится в Парижской обсерватории, как извещает г-н Треска (Procès Verbaux, 1873—1874, стр. 139). Толщина его стенок около 4 мм; внутри его имеется каркас, укрепляющий стенки, и внутрь вложена для отяжеления свинцовая

дробь.[1] Главную же особенность в устройстве цилиндра Жино представляет то обстоятельство, что на верхнем его основании оставлено отверстие диаметром в 3 мм, с винтовою нарезкою для ввинчивания трубочки, вместе с которой цилиндр взвешивался в воздухе и в воде и притом так, что верхняя часть трубочки оставалась в воздухе тогда, когда цилиндр был погружен в воду. Такой прием, очевидно, был применен для того, чтобы: 1) во время взвешивания в воздухе не делать поправки на вес вытесненного воздуха, считая, что стенки цилиндра имеют тот же удельный вес, что и гири, примененные для взвешивания, и 2) во время взвешивания в воде, охлажденной почти до 0° (а именно до 0.3° Ц), иметь внутри цилиндра упругость воздуха, равную атмосферной. Но эти выгоды повлекли за собою три немаловажных неудобства, а именно: 1) трубочка, привинченная к верхнему основанию цилиндра, выдаваясь из воды при взвешивании в ней, должна была, при своем довольно значительном диаметре, производить капиллярное давление, изменяющее вес в зависимости как от диаметра трубки, так и от степени смачивания; 2) при взвешивании в воздухе поправка на вес вытесненного воздуха осталась неопределенной потому, что, с одной стороны, были латунные гири, а с другой — латунный цилиндр и свинцовая дробь, вес которой не дан, и 3) при взвешивании в воде при 0.3°Ц внутренние стенки цилиндра были охлаждены до этой температуры и могли постепенно конденсировать пары внешнего воздуха, что не только должно было изменять результат повторенных взвешиваний в воде, но и, вообще говоря, должно было увеличивать вес цилиндра в воде.[2] Я не могу думать, что эти поводы к погрешностям делали результат (вес воды, вытесненной цилиндром) значительно неточным, но нельзя не иметь

---

[1] При диаметре и высоте около 24.3 см поверхность цилиндра будет около 2782.7 см². Если среднюю толщину стен с каркасом принять в 5 мм, или 0.5 см, а плотность латуни принять по Траллесу 7.62, то вес цилиндра будет около 10.6 кг, а объем около 11.3 дм³, цилиндр должен бы всплывать на воде. Для устранения этого обстоятельства, вероятно, и была всыпана внутрь дробь. Если этот расчет правилен, то вес всыпанной дроби был = весу цилиндра в воздухе или 11.3 кг — 10.6 кг = 0.7 кг. Но латунь, вероятно, имела бóльшую плотность, и вес каркаса неизвестен, а потому дроби было, конечно, меньше.

[2] Для поправки следовало после каждого взвешивания в воде производить новое взвешивание в воздухе, но из описания Траллеса должно заключить, что сперва закончены были ряды взвешиваний в воде, а потом начат ряд взвешиваний в воздухе. При этом, если сперва конденсировалась внутри вода, то она постепенно затем испарялась.

сомнения, по крайней мере, в дециграммах веса вытесненной воды.

Что касается до внешних форм цилиндра, то, судя по словам Треска (l. c.), спаивание листов латуни произведено на оловянном припое, но плоскости оснований и боковая поверхность и поныне сохраняют правильность, видимую по формам отражаемых ими предметов. На нижнем основании цилиндра означена буква B и по окружности — 12 цифр на расстоянии 30°; диаметр 4—10 вычерчен резцом (par une ligne gravée en creux); на боковой поверхности проведено также 12 производящих.[1] Если эти надписи и линии проведены, как можно думать, до взвешиваний, то они должны уменьшить объем цилиндра, но поправки на это в описании исследования не видно.

Для определения внешнего объема цилиндра употреблены особо приготовленные линейки (числом всего 66), которые сличены как с прежними мерами Франции, так и с новым метром, причем приняты во внимание температуры сравниваемых мер. Я не считаю нужным входить во все подробности этих измерений, которые подробно разобраны как Траллесом, так и Брохом. Первый из них выводит объем цилиндра = 11.2900054 дм³, при 17.6° Ц, второй — или 11.290006 ± 0.000100 дм³, или 11.290206 ± 0.000100 дм³ при 16.9° ± 0.2° Ц, смотря по тому, считать ли одно из мест отчета Траллеса за типографскую погрешность, или нет. Разность, особенно относительная $\left(=\frac{1}{56000}\right)$, этих выводов так мала, что мне кажется возможным принять средний результат:

11.29007 дм³ при 17.25° Ц.

Принимая (с Траллесом и Брохом) коэффициент линейного расширения латуни = 0.00001783[2] на 1° Ц, для перехода от объема при 17.25° к 0.3° Ц объем должно уменьшить на 0.01024 дм³, т. е. объем самого цилиндра

11.27983 дм³ при 0.3° Ц.

[1] Эти черты и надписи должны были задерживать трудно устранимые пузырьки воздуха, а они, уменьшая вес в воде, —увеличивать вес вытесненной воды, т. е. давать больший ее вес, чем в действительности, что и вышло, судя по окончательным выводам нашей статьи.

[2] Хотя это число ниже найденного Физо (для 40° 0.0000186), но его необходимо принять, потому что латунь представляет разный состав, а следовательно, и разные коэффициенты расширения, притом здесь дело идет о переходе от 17° к 0°, а при этих температурах коэффициент расширения латуни и должен быть меньшим, а именно по Физо = 0.00001754 при 0.3°—17.3°.

Объем погруженной в воду части трубочки, привернутой к верхнему основанию цилиндра, Траллес определяет в 0.000056 дм³.[1] Таким образом, для дальнейших выводов мы примем объем цилиндра с частью трубки, погруженной в воду, равным

$$11.27989 \text{ дм}^3 \text{ при } 0.3^\circ \text{ Ц.}$$

Жино и Траллес считали объем = 11.27962 дм³, разность от принятого нами = 0.00027 [и] представляет тот же порядок, как действительные и возможные погрешности определений.

Считая вместе с Брохом, что при линейных измерениях возможна погрешность около ± 0.002 мм, получим для цилиндра возможную погрешность объема около ± 0.00028 дм³. В сумме всю возможную погрешность объема едва ли возможно считать менее $\frac{1}{40000}$ всего объема.

Поэтому объем цилиндра с трубочкой при 0.3° Ц принимаем

$$11.2799 \pm 0.0003 \text{ дм}^3.$$

Взвешивания производились латунными гирями произвольного веса, тщательно (до 0.5 мг) сличенными между собою и с килограммовым прототипом. При этом последнем сличении (произведенном, очевидно, лишь по окончании всего исследования) принято, судя по отчету Траллеса, что вес в пустоте кубического дециметра воды при наибольшей ее плотности, или масса килограмма = 0.9992072 тех единиц, которые служили при всех взвешиваниях.[2] Это показывает, что для перехода к истинным граммам, веса, наблюденные Жино, следует делить на 0.0009992072 или умножить на

---

[1] А между тем среднюю глубину погружения верхнего дна цилиндра определяет в 43 мм, диаметр же = 1.285 мм. Очевидно, что трубка была гораздо длиннее 43 мм, и во всю ее длину проходил канал. Здесь является большая трудность исполнения, так что я склоняюсь к мнению о том, что 1.285 отвечает внутреннему диаметру трубки, тем более, что в стенке цилиндра отверстие для трубки описывается равным 3 мм. Но вводить подобные предположения в расчет, очевидно, невозможно, а потому я держусь показаний Траллеса, хотя не уверен в их точности.

[2] Надо думать, что при изготовлении платинового прототипа килограмма была принята во внимание разность его объема (около 48.68 см³ при 0°) от объема медных гирь, служивших для исследования, но прямых указаний на это мне неизвестно. Эти разные неясности, остающиеся в определениях Жино, делают их, говоря вообще, мало надежными. Только у Купфера и Ченея нет подобных неясностей.

1000.7935, что и сделано мною далее для всех взвешиваний.

Взвешиваний в воде (Жино начал с них, чтобы не отягощать заранее весов) было сделано всего 48 при средней температуре воды 0.3° Ц и при давлении 757.7 мм. Среднее из всех 48 взвешиваний дало, 209.5720 г,[1] а среднее из 36 лучших взвешиваний дало, при тех же средних условиях, 209.585 г. Как Жино — Траллес, мы возьмем это последнее число. Разность отдельных взвешиваний, по показанию Траллеса, достигала при этом до ± 0.045 г.

Для приведения полученного веса к пустоте Жино — Траллес определяют по расчету объем воздуха, вмещающегося в цилиндре (9.744 дм^3), находят его вес, вычитают полученный вес из наблюденного, а затем находят вес воздуха, вытесненного гирями (0.0355 г), и этот вес опять вычитают из полученной разности, чрез что истинный вес в воде получается равным 196.9228 г. Брох по тем же данным находит этот вес 196.792 г.

Мне кажется необходимым вновь расчесть этот вес, потому что Жино — Траллесу был неизвестен с достаточною точностью вес литра воздуха, а Брох, при своем расчете, сделал несколько таких допущений, с которыми нельзя согласиться, например: 1) с тем, что внутри цилиндра воздух был лишь наполовину насыщен парами, тогда как он сообщался с наружным воздухом и имел температуру 0.3° Ц, так как был погружен в воду, окруженную льдом; 2) с тем, что вес одного объема воздуха, вытесненного гирями, равен весу такого же объема воздуха, находящегося в (цилиндре) (0.00128564 единиц), и т. п.

Для приведения к пустоте взвешивания, сделанного в воздухе, очевидно, прежде всего надо знать вес литра (его при этом пока надо принять равным кубическому дециметру) воздуха, т. е. атмосферные условия. Для воздуха, находящегося в [цилиндре], эти условия даны, так как средняя температура воды была 0. 3° Ц, и среднее давление дано 757.7 мм. Так как во время Жино показания барометра не приводились к 0°, а давались по непосредственному отсчету, произведенному по латунной шкале, то я принимаю (это гипотеза), что температура ртути в барометре была 15°, и тогда $H_0 = 755.9$ мм. Внутри (цилиндра) воздух был, как сказано выше, наверное, насыщен (и, вероятно, часть влаги осела на стенки), т. е.

[1] Результаты отдельных исследований не даны у Траллеса, и приведение к 0.3° Ц и давлению 757.7 мм произведено самим Жино, но неизвестно, при помощи каких коэффициентов.

упругость водяного пара равнялась 4.67 мм, следовательно, для Парижа вес литра воздуха был

$$e = 1.2937^{1}\,\frac{755.9 - 0.37 \cdot 4.67}{760\,(1 + 0.00367 \cdot 0.3)} = 1.2826 \text{ г.}$$

Труднее сделать вероятные гипотезы относительно объема воздуха, содержавшегося в цилиндре. Внешний объем цилиндра, как мы видели, при 0.3° = 11.28 л. Для удельного веса латуни Траллес принимает 7.61, потому что считает, что стенки [цилиндра], весящего 11.467 г, занимают объем 1.506 дм³. Но известно, что латунь представляет при 10% цинка уд. вес около 8.6, при 25% цинка — около 8.4, и, следовательно, ее удельный вес нельзя принять менее 8.5. Но, как выше указано, в цилиндр Жино для его отяжеления была вложена свинцовая дробь, а так как ее количество неизвестно,[2] а плотность ее гораздо выше, чем латуни, то мы едва ли много ошибемся, приняв средний удельный вес материала цилиндра, равным 8.55 (гипотеза 2). Тогда объем твердых частей цилиндра $= \frac{11.47}{8.55} = 1.34$ дм³ (Жино — Траллес 1.506; Брох 1.362), а следовательно, объем, занимаемый воздухом внутри цилиндра, = 11.28 — 1.34 = 9.94 дм³, и вес его равен

$$9.94 \times 1.2826 = 12.7490 \text{ г.}$$

Этот вес, очевидно, должно отнять от веса (209.585 г), полученного в воздухе, если отыскивать вес, который получился бы в пустоте. Точно так же должно отнять и вес воздуха, вытесненного гирями. Их вес = 0.2096 кг, следовательно, если плотность латуни = 8.5, объем их = 0.0247. Среднее давление воздуха было $H_0 = 755.9$ мм, но температура воздуха весов не указана, и ее (гипотеза 3) мы принимаем = = 15° Ц. Тогда, допуская 70% влажности ($h = 8.87$), вес литра воздуха = 1.2147 г и, следовательно, вес воздуха, вытесненного гирями, = 0.0300 г. Поэтому вес цилиндра в воде, предполагая взвешивание в пустоте, равен

$$209.585 - 12.7490 - 0.0300 = \mathbf{196.8060} \text{ г.}$$

---

[1] Брох (l. c., стр. 134) принял 1.29348.

[2] В выноске 1 на стр. 128 количество свинцовой дроби разочтено близким к 0.7 кг, если для латуни удельный вес 7.62. Вероятнее предположить, что дроби было гораздо меньше, например 0.4 кг. Тогда средний удельный вес x получится из равенства $\frac{11.1}{8.5} + \frac{0.4}{11} = \frac{11.5}{x}$, и x будет около 8.52.

Возможная в этом числе погрешность не менее ±0.06 г. Погрешность эту я увеличил, сравнительно с погрешностью (±0.045 г), наблюденною при взвешиваниях, по той причине, что три гипотезы, к которым пришлось прибегнуть, очевидно, должны ее увеличивать.

Вес цилиндра в воздухе определялся 53 раза, и средний прямой полученный результат, переведенный в граммы, был

11475.1037 г.

Наибольшие отклонения при взвешиваниях достигали ±0.046 г. Ни Жино — Траллес, ни Брох не делают поправок на вес вытесненного воздуха, считая, что в цилиндре находится такой же воздух, как и вне его, и что латунь цилиндра и гирь одинакова по удельному весу. Но так как в цилиндре была отчасти свинцовая дробь, то объем его должен был быть немного меньше, чем гирь. Если предположить средний уд. вес гирь = 8.5, а цилиндра 8.55, то объем последнего был меньше объема гирь на 0.0195 *л*, т. е. вес больше примерно на 0.023 г. Эта поправка, если бы ее сделать, сама по себе мало изменила бы результат, но ее еще должно уменьшить, потому что внутренний воздух цилиндра, от осевшей в нем влажности, должен быть считаем более легким (влажным), чем воздух окружающего пространства. Все это не дает права вводить какие-либо точные поправки, но заставляет только увеличить погрешность, возможную при взвешивании. Поэтому вес цилиндра в пустоте мы оставляем тот, какой найден выше, но возможную его погрешность принимаем ±0.06, как и при взвешивании в воде.

Таким образом, в пустоте, вес воды, вытесненной цилиндром, должно принять равным: 11475.1037 — 196.8060 г, или **11278.2977** г.[1] Возможную погрешность этого числа я считаю $\pm 0.06\sqrt{2} = \pm 0.085$ г.

Удельный вес воды при 0.3° Ц Жино — Траллес принимают = = 0.999872 (считая при наибольшей плотности = 1), Брох принимает 0.999900, а формула, приведенная в начале изложения (стр. 113), дает 0.999892. Это последнее число мы и принимаем, а потому вес, в пустоте, воды при 4° (при

[1] Жино — Траллес дают вместо того 11.2692387 условных единиц, а Брох рассчитывает 11.269370 единиц, или 11278.311 г. Это последнее число отличается от полученного мною только на 0.013, т. е. разность впадает в предел возможных погрешностей, так что вся разность в окончательном выводе зависит от совокупности малых разностей в поправках и мало изменяет выводы Броха.

наибольшей плотности), вытесненной цилиндром, имеющим объем при 0.3° Ц = 11.2799 ±0.0003 дм³ равен:

11279.516 г ± 0.085 г.

Вес же 1 дм³ воды, в пустоте, при 4° равен

999.966 г.

Вероятная погрешность этого числа, повидимому, невелика, не более ± 0.03 г. Но не должно забывать, что мы не имеем никакого понятия ни о степени чистоты примененной воды, ни о количестве влаги, несомненно, оседавшей на внутренних стенках цилиндра при его погружении в воду, окруженную тающим льдом, и лишь малое понятие о мере испарения осевшей воды при взвешивании цилиндра в воздухе. Поэтому истинный вес кубического дециметра воды при 4°, в пустоте, едва ли можно считать определенным из опытов Жино с большею точностью, чем до дециграмма, тем более, что о приготовлении воды, служившей для исследования, у Траллеса совершенно не упомянуто, однако же, без особой осторожности перегнанная вода часто представляет уд. вес до 1.0002, если чистая = 1. Однако, во всяком случае, эти определения бесспорно гораздо точнее, чем Шукбура — Кетера, не только судя по числу измерений, но и по объему цилиндра.

III. Исследования профессора (сперва в Казанском университете, а потом в Главном педагогическом институте в С.-Петербурге) и академика **Купфера** над весом кубического дюйма воды представляют несомненный успех в отношении к многим частностям; например, давления и температуры определены им по приборам, специально выверенным, переход от прототипов к размерам погружаемых тел и их весам описан так, что не остается никаких сомнений; на чистоту воды Купфер обратил большое внимание и, что очень важно, все полученные числа публиковал. Об одном лишь можно сожалеть: в работе Купфера взяты были очень малые цилиндры, особенно первый (396 см³); поэтому данные для большого цилиндра (818 см³) заслуживают особого предпочтения.

Как и определения Шукбура и Жино, исследования Купфера производились из-за желания (ныне совершенно оставленного) связать между собою единицы длины и веса,

а именно последние определить, исходя из первых. Производились они в конце 30-х годов текущего столетия при Комиссии, образованной бывшим тогда министром финансов гр. Е. Ф. Канкриным, и полученный результат, как указано в начале статьи, взошел в закон. Если принять, как вывел Купфер, что кубический дюйм воды при $13^1/_3°$ Р весит в безвоздушном пространстве 368.361 доли русского фунта, (= 16.36808 г), то по эквивалентам, указанным выше (стр. 109), и принимая при $13^1/_3°$ Р (= $16^2/_3°$ Ц) уд. вес воды (стр. 113), равным 0.998890, получим вес кубического дециметра воды [при] 4°, в пустоте, равным 999.946 г. Примечательно большое сходство этого вывода с тем, который вытекает из определений Жино. Но вывод Купфера нельзя считать достоверным, т. е. соответственным с истинными результатами его опытных исследований, не только потому, что он пользовался не вполне точными данными для веса воздуха, но и потому, что в расчетах Купфера вкрались некоторые другие погрешности и он брал среднее из опытных сведений, явно представляющих весьма неодинаковую степень точности. Поэтому далее вновь пересчитано все то, что относится до взвешиваний Купфера, оставляя в первоначальном виде все, что касается до измерения объемов, потому что в этой части работ Купфера я не нашел ни одного упущения, могущего явно изменять результат. Полный отчет о рассматриваемом исследовании помещен во втором томе «Travaux de la Commission pour fixer les mesures et les poids de l'Empire de Russie. Rédigés par A. Th. Kupffer, membre de cette Commission et académicien.» (t. II, 1841, St.-Pétersbourg, стр. 1—335).

Для линейных измерений цилиндров служило помещение их в желаемом положении (изменяемом соответственными винтами) между двумя призмами, способными к продольному движению и имеющими закругленные (по большому радиусу шара) концы и деления на латунной линейке, прикрепленной к верхней стороне каждой призмы. Отсчеты неподвижными микроскопами на этих линейках при двух положениях призм дают размеры цилиндра, причем в одном положении закругленные концы прямо соприкасаются друг к другу, надавливаясь определенным грузом, а в другом положении при том же надавливании между закругленными концами помещается измеряемая часть цилиндра. Сличение делений на линейках с выверенными копиями прототипов и между собою, тождество материала линеек и цилиндров, поправки на возможную кривизну постановки этих цилиндров, расчет

по измерениям степени коничности цилиндров, пользование показаниями термометров и тому подобные части исследования, судя по описанию его, произведены со введением многих новых приемов и должны быть разыскиваемы желающими в самом мемуаре Купфера, представляющем немало специального интереса. В результате получены, после всех введенных поправок, следующие объемы:

Малый цилиндр (стр. 133): **24.17753** куб. дюйма } при $16^2/_3°$ Ц
Большой » (стр. 250): **49.89931** » » } или $13^1/_3°$ Р = 62° Ф

Хотя Купфер прямо не упоминает, к какой температуре относятся эти объемы, но не подлежит сомнению, что нельзя принять иную температуру, кроме 62° Ф, или $13^1/_3°$ Р, или $16^2/_3°$ Ц, потому что исходом для всех сличений служил ярд Кетера, выверенный в отношении к указанной температуре. Здесь, конечно, является сомнение о тождестве состава, а следовательно, и расширения латунных линеек Купфера и ярда Кетера, но, во-первых, расширение сплавов, подобных тем, из коих приготовляются в Англии образцовые ярды, мало отличается от расширения латуни, во-вторых, то и другое не определено, а потому нельзя ввести и поправок, и, в-третьих, температуры, при которых Купфер производил свои компарации мер длины, мало удаляются от 62° Ф = $= 13^1/_3°$ Р, так что если бы и пришлось делать температурные поправки длин, то они, при малости размеров цилиндров, впали бы, вероятно, в пределы таких малых частей дюйма, которые не наблюдались при измерении цилиндров.

Если же вышеуказанные объемы цилиндров должно относить к $16^2/_3°$ Ц, то, принимая средний коэффициент кубического расширения латуни на 1° Ц, равным 0.000056 (Физо, Маттисен), получим, что на каждый градус Цельзия должно вводить поправку:

Для объема малого цилиндра 0.00135 куб. дюйма
» » большого » 0.00279 » »

В отношении к степени точности определения объемов мемуар Купфера дает право заключить, что в принятых для расчета средних величинах линейных размеров погрешность была не более $\pm 2^1/_2 \mu$. Так, например (стр. 128), средняя длина малого цилиндра, полученная при измерении чрез 6 равно отстоящих точек окружности, получилась равною 79.97200 мм. Та же средняя длина чрез 6 промежуточных точек = 79.97076, в среднем из обоих опреде-

лений: 79.97138. Новое же определение чрез все 12 точек окружности дало 79.96801, указывая на то, что погрешность доходит до 0.00337 мм. В других подобных случаях встречаются лишь подобные же уклонения. В общем среднем в линейных измерениях должно признать некоторое уменьшение погрешности, но, во всяком случае, она едва ли менее 0.0025 мм или $\Delta = 0.0001$ дюйма. Диаметр и высота цилиндров были почти одинаковы, назовем их чрез d. Объем рассчитывался по формуле $v = \frac{\pi}{4} d^3 = 0.7854\, d^3$. Если в d была погрешность $\pm\Delta$, то $v \pm x = 0.7854\,(d \pm \Delta)^3$ или почти: $v \pm x = 0.7854\, d^3 \pm 0.7854 \cdot 3d^2\Delta$, т. е. погрешность объема $\pm x = \pm 0.7854 \cdot 3\, d^2\Delta = \pm 2.76\, v^{2/3}\Delta$, а так как $\Delta = 0.0001$ дюйма, то возможная, едва ли даже не наибольшая, погрешность в объеме:

Малого цилиндра $= \pm 0.0023$ куб. дюйма $= \frac{1}{10500}$

Большого » $= \pm 0.0037$ » » $= \frac{1}{13500}$

Расчет этот показывает, например, что в выводе Купфера «кубический дюйм воды при $13^1/_3$° Р, в пустоте, весит 368.361 доли фунта» может заключаться погрешность, по крайней мере, в ± 0.027 доли, а при определении веса кубического дециметра воды ± 0.074 г. Этого соображения достаточно для того, чтобы при расчете взвешиваний не входить в тщательный разбор малых дробей веса, например, тысячных частей доли фунта.

Для взвешиваний употреблялись фунты и их подразделения, как русский, так и австрийский; они предварительно со всеми возможными предосторожностями (двойным взвешиванием) сравнены между собою, со своими подразделениями и с тем русским фунтом, который окончательно был принят. Весы явно показывали сотые части долей русского фунта (0.01 доли = 0.00044 г). Все дальнейшие данные даны в долях русского фунта, взятого в дело и служившего нормою, что и означено буквою «*д.*».

При взвешивании цилиндров в воздухе применялось перекладывание, по Гауссу, и отмечались давления, показания психрометра и температуры по исправленным (на калибр и положение 0°) термометрам. При взвешивании цилиндров в воде на правом плече сперва привешивалась подвеска с цилиндром, погружаемая в воду, и на левом накладывался груз, необходимый для равновесия, затем груз этот остав-

лялся на весах, а цилиндр снимался с подвески, на правое же плечо прибавлялись гири, которые и определяли вес цилиндра в воде. Взвешивания в воде и в воздухе следовали друг за другом вперемежку, потому что нечетные, начиная с первого взвешивания, были в воздухе, а четные — в воде, и только в немногих случаях этот порядок нарушался. В каждом взвешивании производились 2—5 раз повторения, и далее приводятся лишь средние результаты. Удельный вес гирь 8.51, если вода при $13^1/_3°$ Р = 1 (следовательно, 1 куб. дюйм гирь весит 3134 доли).

Средние результаты четырех рядов взвешиваний малого цилиндра в воздухе:

Ряд	Барометр, в дюймах	Температура воздуха, по Реомюру	Разность психрометрическая, по Реомюру	Средний вес, в долях русского фунта
I	29.68 (12.5° Р)	12.42°	3.45°	10543.8434 *д.*
III	29.895 (13.8° Р)	13.30	3.30	10543.8171 *д.*
V	30.03 (14.5° Р)	14.25	3.40	10543.8426 *д.*
VIII	29.61 (14.2° Р)	13.30	3.23	10543.9026 *д.*
Среднее .	29.804 (13.75° Р)	13.32°	3.345	10543.8514 *д.*

Из этих данных (считая шкалу барометра латунною) получаем средний вес литра воздуха (H_0 = 754.93 мм, h = 8.3 мм, t = 16.65° Ц) = 1.2154 г или средний вес кубического дюйма воздуха = 0.44823 доли. Объем цилиндра = 24.178 куб. дюйма, а объем гирь = 3.365 куб. дюйма, а потому вес малого цилиндра в пустоте

$$10543.8514 + 0.44823\ (24.178 - 3.365) = \mathbf{10553.1804}\ д.$$

Купфер нашел 10553.3530, потому что руководился при определении веса воздуха данными Био и Араго, которые выше действительных, но разность числа, полученного Купфером, от действительного так мала (около одной стотысячной доли всего веса), что от этого результат должен мало измениться.

Вес в воздухе того же самого малого цилиндра был определен Купфером позднее еще раз (стр. 314, ряд XVIII). Получены следующие данные: барометр 29.43 дюйма (14.2° Р), температура 13.9° Р, психрометрическая разность 2.8° Р, вес

в воздухе = 10543.8113, вес в пустоте (вес литра воздуха = = 1.1866 г, или 1 куб. дюйма = 0.43762 *д.*) = **10552.9195** *д.* Вес, очевидно, убавился. А так как в эпоху этого нового взвешивания было произведено несколько взвешиваний в воде, то мы будем пользоваться для первой эпохи весом 10553.18 *д.*, а для второй 10552.92 *д.* Эти разные эпохи определяются в исследовании Купфера не только удалением по времени, но и тем, что в первую эпоху для взвешиваний служила перегнанная вода, не вполне очищенная, не выдержавшая пробы Бонздорфа[1] и дающая с азотносеребряною солью слабую муть, тогда как во вторую эпоху Купфер пользовался водою, приготовленною для этой цели академиками Фрицше и Гессом и выдержавшею пробу Бонздорфа. Поэтому далее мы отличаем те взвешивания, которые сделаны с этою последнею водою, ставя знаки: (Ф.), если вода была от Фрицше или (Г.) — когда от Гесса.

Вес малого цилиндра в первоначально взятой воде (число взвешиваний во всех рядах = 4):

Ряд	Стр.			
II	199	1645.8968 *д.*	при	12.75° P
IV	203	1646.2716 *д.*	»	12.92
VI[2]	207	1646.9293 *д.*	»	13.41
VII	209	1646.4746 *д.*	»	13.16
IX	212	1646.6569 *д.*	»	13.26
X	214	1646.8933 *д.*	»	13.57
XI	216	1646.3433 *д.*	»	13.13
		Среднее[3] 1646.4951 *д.*	»	13.17° P

[1] Проба Бонздорфа производилась по Купферу так (стр. 305): на поверхность испытуемой воды бросают небольшое количество легких свинцовых стружек (опилок); если вода чиста, свинец быстро окисляется и падает на дно, как бы утекая вниз; если вода нечиста, такого явления не происходит.

[2] Начиная от этого наблюдения, приводятся показания барометра и воздушного термометра, но так как поправки для воздуха, вытесненного гирями, малы (их объем 0.525 куб. дюйма), то я не воспроизвожу этих данных и исправляю средний результат, принимая, как получено выше, вес кубического дюйма воздуха ± 0.4482 *д.*

[3] Для малого цилиндра данные Купфера не только в том отношении заслуживают менее доверия, сравнительно с числами для большого цилиндра, что объем первого слишком вдвое менее, чем второго, но особенно потому, что здесь нет стройности взвешиваний, существующей для большого цилиндра, а именно в зависимости веса от температуры. Вообще, вес латунного предмета в воде выше 10° должен правильно и притом ускоренно возрастать с повышением *t* (так это есть для большого цилиндра), потому что вода расширяется более, чем латунь, и с повышением *t* все сильнее, а здесь этого нет, например при 13.41° (VI) вес 1646.93 более, чем при 13.57° (X), когда получено 1646.89. Разности,

Если из этого среднего числа вычесть вес воздуха, вытесненного гирями (0.2353 *д.*), то получится вес цилиндра в воде, который был бы в пустоте, а именно (отбрасывая тысячные и десятитысячные части долей, как мало достоверные) **1646.26** *д.*, при 13.17° Р. Вес в пустоте = 10553.18 *д.*, следовательно вес, в пустоте, вытесненной воды = 8906.92 *д.*, объем же цилиндра при 13.17° Р, или 16.41° Ц, равен 24.17753 — —0.00135 ($16^2/_3 - 16.41$) = 24.1772 куб. дюйма, а потому в пустоте вес кубического дюйма воды = 368.4016 при 13.17° Р, или 16.41° Ц. Следовательно, при $13^1/_3$° Р, или 16.67° Ц вес этот будет **368.386** доли.[1] Купфер же вывел из этих данных 368.396 *д.*

Во вторую эпоху своих исследований, получив вновь приготовленную воду, Купфер сделал также несколько взвешиваний малого цилиндра в воде и получил:

Ряд	Стр.	Температура воды	Вес, в долях фунта	Число взвешиваний
XV	308	13.07°	1646.6766 (Ф.)	4
XVII	313	13.35	1646.8280 (Ф.)	4
XX	320	13.32	1646.7512 (Г.)	4
XXIII	325	12.07	1645.5304 (Г.)	4
Среднее		12.95°	1646.4466	

конечно, не велики, но во-первых, и таких нет в более стройных данных того же Купфера, а во-вторых, эти небольшие неточности взвешиваний наводят сомнения на точность результата, так как дают повод подозревать присутствие пузырьков воздуха, о которых мы далее говорим подробнее.

[1] Можно было бы идти и иным путем (подобным тому, которым пользовался Купфер), чтобы получить вес кубического дюйма воды при $13^1/_3$° Р, а именно: совокупить данные лишь для близких температур и отыскать таким способом число, отвечающее $13^1/_3$° Р. Так, ряды II и IV дают при 12.83° Р 1646.0841, ряды VII и XI при 13.14° Р 1646.4090 и ряды VI, IX и X при 13.41° Р 1646.8265. Зависимость от температуры при этом получается почти прямолинейная, а именно: вес = $1646.25 + 1.07\,(t - 13) + 0.86\,(t - 13)^2$. Это дает для $13^1/_3$° вес 1646.70, а в пустоте 1646.47 *д.*, а потому вес воды 8906.71 *д.*, т. е. вес 1 куб. дюйма в пустоте при $13^1/_3$° Р = 368.388 *д.* Это число настолько близко к выше полученному, что нет повода предпочитать один способ другому. К наблюдениям же, описываемым вслед за сим, способ этот, очевидно, не приложим, не только потому, что наблюдений мало, но и потому, что зависимость от температуры там уже представляет явные неправильности.

Сделав поправки на вес воздуха, вытесненного гирями, получаем, в среднем, 1646.21 *д.*, что должно вычесть из 10552.92 *д.*, чтобы получить вес в пустоте воды, вытесненной цилиндром, при 12.95° Р = 16.19° Ц. Он = 8906.71 *д.*, а объем цилиндра при этой температуре[1] 24.17108 куб. дюйма, поэтому вес в пустоте кубического дюйма воды при 12.95° Р = 368.4802 *д.*, а при 13⅓° Р этот вес = 368.457 *д.*; но этому среднему числу нельзя придавать значения, так как в рядах первом и последнем замечаем неправильность температурной перемены веса, сравнительно с двумя средними рядами. Вследствие этого я взял лишь числа двух средних рядов (XVII и XX), близких к 13⅓° Р; они дают, в среднем, что при 13.335° Р, т. е. почти при нормальной температуре (62° Ф), вес в воде = 1646.7891 *д.*, а по исправлении на вес воздуха, вытесненного гирями, 1646.55 *д.*, объем = 24.17753 куб. дюйма, вес в пустоте 10552.92 *д.*, а потому вес кубического дюйма в пустоте при 13⅓° Р = **368.374**. Это число я считаю более достоверным не только по причине сходства рядов, но и потому, что для более чистой воды получился меньший вес, как и следовало ждать. Это число близко к выведенному Купфером из предшествующих данных, а именно, из них он вывел при 13⅓° Р 368.380. И у него получилось число меньшее, чем для воды нечистой (368.396). Но разности столь малы, что здесь видно, насколько вывод из опыта зависит от способа расчета. Притом объем цилиндра мал и число определений невелико, а потому все числа, полученные для малого цилиндра, не принимаются мною в окончательном выводе, особенно ввиду того, что по стройности результатов большего доверия заслуживают излагаемые далее данные для большого цилиндра.

Большой цилиндр взвешивался Купфером, так же как и малый, многократно в воздухе и перегнанной воде, менее и более чистой. Средние результаты всех взвешиваний этого цилиндра далее изложены и рассчитаны почти так же, как и для малого цилиндра, но мне кажется полезным для большого цилиндра развить некоторые подробности.

---

[1] Купфер держится другого способа расчета, а именно: по данным для разных температур находит интерполированием, прибегая к способу наименьших квадратов, вес в воде при 13⅓° Р и все относит к этой одной температуре. Этот прием был бы очень правилен, если бы температуры воды были то выше, то ниже указанной, но так как во всех 11 рядах только три раза встречаются температуры выше 13⅓° Р, то прием Купфера представляется мало выгодным, напоминая эксполирование.

Веса в воздухе большого цилиндра в первую эпоху (когда бралась менее чистая вода) суть:

Ряд	Стр.	Барометр, в дюймах при 0°	Температура воздуха, по Реомюру	Психрометрическая разность, по Реомюру	Средний вес	Число взвешиваний
I	275	29.81	12.30°	?	25560.9612 *д.*	10
III [1]	280	29.77	13.45	3.17°	25561.0171 *д.*	5
V	284	29.98	12.30	3.61	25560.8851 *д.*	5
VIII [2]	289	29.97	12.20	2.80	25560.6791 *д.*	5
X	293	30.45	13.30	3.00	25560.4155 *д.*	5

После того, как получена была от г.г. Фрицше и Гесса более чистая перегнанная вода, взвешивания большого цилиндра в воздухе дали:

XIV	307	29.90	13.40°	?	25560.7482 *д.*	5

В этом взвешивании не видно изменений, превосходящих погрешности наблюдений, а потому берем общее среднее, причем упругость паров разочтена по общей средней температуре и проценту насыщения (а именно 61%), полученному из 4 данных показаний психрометрической разницы. Таким образом, как средний вывод, получается: $H_0 = 29.98$ дюйма $=$ $= 761.48$ мм; $t = 12.825°$ Р $= 16.03°$ Ц; средняя упругость водяного пара (считая средний процент насыщения $= 61\%$) $h = 8.26$ мм; средний вес в воздухе: 25560.7844 *д.* Отсюда вычисляется вес литра воздуха $= 1.2205$ г или вес его кубического дюйма $= 0.4501$ доли, объем гирь $= 8.156$ куб. дюйма, а так как объем цилиндра при 16.03° Ц $= 49.898$ куб. дюйма, то вес цилиндра в пустоте $=$ **25579.5725** *д.*

По расчету Купфера, вес этот изменялся в опыте от 25580.7751 до 25580.5302; причина разности от нашего расчета зависит от того, что во время Купфера вес воздуха не был еще так точно известен, как ныне, принимался же (по Био и Араго) выше действительности.

[1] При взвешиваниях были на этот раз взяты австрийские граны и фунт, и при переводе в доли русского фунта сделана описка или произошла опечатка, потому что 1 фунт австрийский + 1 фунт русский + + 2280.2879 грана австрийских — 0.06 div. = 2 фунта 74 зол. 25.0171 доли, а не 2 фунта 74 зол. 35.0171 доли, как напечатано.

[2] Взвешивания рядов VIII и X произведены спустя несколько месяцев после предшествующих (стр. 300). Купфер рассчитывает эти два ряда отдельно от других, но я не вижу на то достаточной причины.

Взвешивания большого цилиндра в воде произведены Купфером в 12 рядах, из которых всякий содержал по 4 взвешивания (только во II ряде было 3 взвешивания), притом первые 7 с первоначально взятою водою, а 5 последних с более чистою водою от г.г. Фрицше и Гесса. Там и здесь я располагаю наблюдения не в том порядке, в каком они описаны, а по возрастающей температуре воды, чтобы ясно видеть степень ее влияния на получаемый результат. Хотя показание барометра приведено в большинстве рядов, но все же не во всех, и температура воздуха не дана, а потому истинный вес воздуха, вытесненного гирями, неизвестен. Однако можно полагать, что он был такой же, как при взвешивании цилиндра в воздухе (1 куб. дюйм = 0.4501 *д.*), потому что взвешивания в воде и в воздухе перемежались, а погрешность от такого допущения не может быть значительною, потому что вес гирь (около 75 золотников, или 7200 *д.*) был невелик, как и их объем (около 2.298 куб. дюйма), а потому вся поправка (= — 1.0343 *д.*) на вес воздуха, вытесненного гирями, невелика. Поэтому в последнем столбце введена во все определения одинаковая поправка — 1.0343 *д.*,[1] отбрасывая при этом тысячные и десятитысячные части долей фунта, так как уверенности в их точности быть не может (0.001 *д.* = 0.044 мг).

Вес большого цилиндра в первоначально взятой воде:

Ряд	Стр.	Средний кажущийся вес, в долях	Средняя температура, по Реомюру	Истинный вес большого цилиндра
IX	291	7196.3828	10.92°	7195.35 *д.*
XI	294	7196.7538	11.30	7195.72 *д.*
IV	282	7196.9545	12.30	7195.92 *д.*
II	278	7197.4465	12.52	7196.41 *д.*
XII	296	7200.4398	13.45	7199.41 *д.*
VI	285	7201.6241	14.02	7200.59 *д.*
VII	287	7202.0116	14.29	7200.98 *д.*

Хотя с возрастанием температуры вес постепенно возрастает, но при ближайшем исследовании этой зависимости веса от температуры замечаются неправильности, которые становятся ясными уже из того, что при переходе от 11.3° к 12.3° Р вес возрос гораздо меньше, чем при переходе от

[1] Купфер поступал так же, но вместо 1.0343 *д.* у него принята поправка 1.0430 *д.*

10.9° к 11.3° или от 12.3° к 12.5° Р.[1] Чтобы дать себе некоторый отчет о нормальном ходе изменения веса латунного предмета, погруженного в воду, с переменою температуры, остановимся на задаче в ее общих чертах.

Вес p латунного, более, чем вода, тяжелого тела, представляющего объем $V_t = V_0(1 + at + bt^2)$ (по данным Физо даже в пределе 0—100° Ц не надо брать больше членов), где V_0, a и b суть постоянные, при погружении в воду равняется его абсолютному весу P, без V_t, умноженного на вес одного объема вытесненной им воды, т. е.

$$p = P - V_0(1 + at + bt^2)\,s_t,$$

где чрез s_t означен вес единицы объема воды при температуре наблюдения. Если же объемы тела и воды измеряются такими единицами, например литрами или миллилитрами, которые при уд. весе воды, равном единице, выражаются весом, равным единице (например килограмму или грамму), то s_t есть не что иное, как удельный вес воды, который мы будем считать эмпирически известным (стр. 113). Так как вес P и объем при 0° V_0 — величины постоянные при всех t, то температурные изменения зависят исключительно от произведения $(1 + at + bt^2)\,s_t$. Латунь, по Физо, для температур (по Цельзию), близких к обыкновенной, расширяется по уравнению, близкому к

$$V_t = V_0(1 + 0.00005337\,t + 0.00000033\,t^2).$$

А потому для [нижеуказанных температур изменение веса]:

Температура		$1 + at + bt^2$	s_t	$(1 + at + bt^2)\,s_t$	Изменение веса в воде большого цилиндра, считая от 16²/₃° Ц. или 13¹/₃° Р	
Реом.	Цельз.				в граммах	в долях фунта
10°	12.5°	1.000672	0.999484	1.000157	—0.3016	—6.79
12	15.0	1.000807	0.999152	0.999959	—0.1405	—3.16
14	17.5	1.000943	0.998750	0.999692	+0.0785	+1.77
16	20.0	1.001079	0.998272	0.999349	+0.3579	+8.05
13¹/₃°	16²/₃°	1.000898	0.998890	0.999788	0	0

[1] Такие же неправильности замечаются и в данных для малого цилиндра, но я предпочел их рассмотреть для большого цилиндра, потому

В нашем частном случае объем большого цилиндра при 62° Ф или 16.67° Ц = 49.89931 куб. дюйма или 817.7080 см³, следовательно $V_0 = 816.9744$. Очевидно, что абсолютная величина изменения веса цилиндра в воде с температурою будет независима от абсолютного веса P,[1] а потому в предпоследнем столбце разочтено изменение веса p, считая его при $16^2/_3$° Ц = $13^1/_3$° Р равным нулю.[2] Это изменение будет в граммах, а в последнем столбце оно дано в долях фунта. По числам последнего столбца и температурам Реомюра я вычертил кривую, по которой находил для всякой t разности веса от того, который должен отвечать $13^1/_3$° Р, чрез что получилась возможность из наблюденных чисел найти вес при $13^1/_3$° Р. Так, например, при 10.92° Р получен вес 7195.35 *д.*, поправка, отвечающая этой температуре, около +5.12, следовательно вес при $13^1/_3$° Р около 7200.47; из данных для 12.52° таким же образом получаем около 7198.5; из данных для 14.29° — около 7198.4. Таким образом оказалось, что наблюдения при 10.92° и 11.30° Р одни дают числа бо́льшие всех остальных,[3] все же прочие дают очень сходные между собою результаты, показывая, во-первых, что наблюдения Купфера произведены с большою тщательностью, и, во-вторых, что они косвенно подтверждают существующие и нами примененные сведения о расширении латуни и воды. Тем не менее, мне кажется, что для окончательного вывода нельзя ограничиться одними последними рядами, а следует взять все и расчесть их, не руководствуясь сведениями о расширении воды и латуни, а независимо от иных данных.

что здесь предел изменения температуры более широк и все определения стройнее.

[1] Т. е. $\frac{dp}{dt}$ независимо от P.

[2] Так как произведение $V_0(1 + at + bt^2)s_t$ при 16.67° Ц = 816.8004 г, то искомая величина при данной t будет равна этому числу без вышенаписанного произведения, отвечающего соответственной температуре.

[3] Причина, по которой ряд IX дал неточные результаты, становится отчасти понятною из того, что при разных взвешиваниях температура все время возрастала, т. е. не достигнуто было температурное равновесие. Так, при четырех взвешиваниях IX ряда (стр. 242) температуры были: 10.77°, 10.91°, 10.96° и 11.05° Р. В XI ряде температуры постояннее (11.17°, 11.33°, 11.34° и 11.34°), но вес все время возвышается. Но так как те же обстоятельства встречаются и в других рядах, то я и не считаю возможным совершенно исключить данные IX и XI рядов (как сделал Купфер).

Чтобы найти по данным опыта вес большого цилиндра в воде, испробовав разные приемы, я остановился на нижеописываемом. Из двух соседних рядов, отвечающих близким температурам (IX и XI, IV и II, VI и VII), за изъятием ряда XII (13.45° Р), для которого нет близкого по температуре, составляется следующая таблица:

При 11.11° Р вес в воде $p = 7195.53$ *д.*
» 12.41 » » » $p = 7196.16$ *д.*
» 14.15 » » » $p = 7200.78$ *д.*

Эти числа отвечают равенству

$$p = 7198.05 + 2.726\,(t - 13.33) + 0.714\,(t - 13.33)^2.$$

Расчет этот сделан вовсе не для того, чтобы найти вес x при $13^1/_3$° Р, а чтобы по каждому из данных опыта находить вес x при $13^1/_3$° Р, так как

$$x = p - 2.726\,(t - 13.33) - 0.714\,(t - 13.33)^2.$$

В следующей таблице сделан весь этот расчет:

[Температура]	p	Поправка $x - p$	x, или вес при 13.33° Р
10.92° Р	7195.35	+2.74	7198.09 *д.*
11.30	7195.72	+2.59	7198.31 *д.*
12.30	7195.92	+2.05	7197.97 *д.*
12.52	7196.41	+1.74	7198.15 *д.*
13.45	7199.41	—0.34	7199.07 *д.*
14.02	7200.59	—2.22	7198.37 *д.*
14.29	7200.98	—3.28	7197.70 *д.*
		Среднее . .	7198.24 *д.*

Наибольшее уклонение 0.83 *д.*, среднее вероятное ±0.11 *д.* Так как вес в пустоте равен 25579.57, то вес вытесненной воды = 18381.33 *д.* при $13^1/_3$° Р. А так как объем большого цилиндра при этой температуре равен 49.89931 куб. дюйма, то вес, в пустоте, кубического дюйма первоначально взятой воды, при $13^1/_3$° Р, равняется: **368.368** *д.* Если в объеме примем возможность погрешности $\pm\frac{1}{13500}$, а в весе $\frac{1}{27000}$, то наи-

большая погрешность, могущая скопиться в этом числе, будет $\frac{3}{27000}$, или около ± 0.012 доли фунта; по многочисленности же определений и их согласию, надо думать, что найденное число не отличается от истины более, чем в тысячных частях долей фунта — по крайней мере, при сравнении с весом более чистой воды, вытесняемой тем же цилиндром.

Нам остается теперь сообщить данные Купфера для большого цилиндра, полученные во вторую эпоху, при взвешивании в более чистой перегнанной воде, доставленной Фрицше и Гессом.

Число взвешиваний в [каждом] ряду = 4, следовательно, всего 20 взвешиваний.

Ряд	Стр.	Средний кажущийся вес в воде	Температура, по Реомюру	Исправленный вес
XXII	322	7200.2738 (Г.)	12.73°	7199.24 *д.*
XIII	305	7200.2628 (Ф.)	12.79	7199.23 *д.*
XXI	320	7202.4443 (Г.)	13.65	7201.41 *д.*
XIX	316	7202.8940 (Г.)	13.84	7201.86 *д.*
XVI	310	7203.1370 (Ф.)	13.99	7202.10 *д.*

Эти веса больше, чем с первоначально взятой водою (стр. 143), т. е. вес воды меньше, чем прежней. Уже в этом одном должно видеть, что определения Купфера составляют немалый шаг вперед, сравнительно с первоначальными исследователями, которые не дают никаких доказательств чистоты воды и не дают чисел, могущих свидетельствовать о мере подмесей, содержащихся в их воде. Здесь же прямо можно вывести, как мы далее и делаем, удельный вес той воды, которая бралась первоначально. Мало того, Купфер часть последних своих определений (стр. 312) сделал с водою кипяченою, следовательно лишенною растворенного воздуха. Оказалось, однако, что от кипячения вес заметно не изменяется, чего и следует ждать, потому что можно утверждать (судя по наблюдениям, рассмотренным мною в сочинении «Исследование водных растворов по их удельному весу», 1887 г., стр. 383), что от насыщения воздухом плот-

ность воды изменяется лишь в миллионных долях уд. веса.[1]

Из предыдущих данных, соединяя два первых (XXII и XIII), два последних (XIX и XVI) и три средних (XIII, XXI и XIX) определения, получаем:

$$t = 12.76^\circ\,\text{P} \quad p = 7199.23\ д.$$
$$13.43 \qquad 7200.83\ д.$$
$$13.91 \qquad 7201.98\ д.$$

Отсюда

$$p = 7200.59 + 2.391\,(t - 13.33) + 0.007\,(t - 13.33)^2.$$

Так как от введения поправок в каждое отдельное число все же в среднем для $13^1/_3{}^\circ$ P получается число (7200.60), очень близкое к 7200.59 *д.*, то я его и принимаю, как вывод из указанного ряда определений для 13.33° P. Вычитая из веса цилиндра в пустоте (25579.57), получаем, что вес чистой воды, вытесненной при $13^1/_3{}^\circ$ P большим цилиндром, равен 18378.98 *д.* Отсюда выводим:

1) что первоначально взятая вода (ее вес 18381.33 *д.*) имела плотность 1.000128,[2]

и 2) что кубический дюйм чистой воды при $13^1/_3{}^\circ$P в пустоте весит **368.321** *д.*,[3] потому что объем цилиндра = = 49.89931 куб. дюйма.

---

[1] Наблюдения Мали и Марека (в Wied. Ann., Bd. XLIV, 1891, стр. 172) оправдывают мой вывод, показывая, что:

Температура по водородному термометру	Уд. вес воды чистой (без воздуха)	Уд. вес воды, содержащей (насыщ.?) воздух
0° Ц	0.9998767	0.9998742
4	1.0000000	0.9999968
10	0.9997327	0.9997295
20	0.9982339	0.9982335
30	0.9956720	0.9956720

т. е. около 30°Ц разность исчезает, а при обыкновенной температуре — около 2 или 3 миллионных.

[2] Если бы подмесь составляла соляная кислота, то этот удельный вес показывал бы содержание ее около 0.026%, потому что при увеличении содержания HCl на 1%, плотность воды увеличивается, приблизительно, на 0.004944 (Д. Менделеев. Исследование водных растворов по удельному весу, стр. 345*).

[3] Купфер (стр. 333) выводит 368.333 *д.*; разность определяется преимущественно тем, что вес в пустоте у него получился более истинного, а затем вес в воде также вышел немного иным, чем по способам расчета, употребленным мною.

* Д. И. Менделеев, Сочинения, т. III. [*Прим. ред.*].

Число это, по моему мнению, достовернее всех прочих чисел Купфера, потому что: 1) получено с большим цилиндром, в объеме которого относительная погрешность, конечно, меньше, чем в определении объема малого цилиндра, который дал 368.374. Разность составляет, однако, $\frac{1}{6821}$ часть величины, но погрешности гораздо более можно ждать в данных для малого цилиндра, чем для большого, тем более, что и число определений у последнего значительнее и, что всего важнее, ход температурных изменений правильнее, чем для малого цилиндра (где, вероятно, были и пузырьки воздуха). 2) Вода здесь взята действительно чистая, и число, полученное для первоначальной воды (368.368 для большого цилиндра, для малого же 368.386), явно показывает, что в ней было в растворе нечто, увеличивающее ее плотность. 3) Взвешивания в чистой воде большого цилиндра и самое измерение его объема произведены Купфером в самом конце его исследований, а в столь деликатных измерениях, как вышеописанные, приобретение опытности всякого рода, несомненно, влияет на точность результата.

Принимая для исследований Купфера за достовернейший вывод число 368.321 *д.*, я должен сделать два замечания:

1) Для взвешиваний в воде и воздухе Купферу служил исходом фунт, означаемый им буквою *D*, для окончательной же установки нового узаконенного в 1835 г. русского фунта служил «фунт Комиссии», означенный буквою *N*. Десять взвешиваний (каждый раз с перекладыванием, по способу Гаусса) дали в результате, что в воздухе:

$$D = N + 0.0860 \text{ доли (l. c., стр 332).}$$

2) Удельный вес фунта *N*, по отношению к воде при $13\frac{1}{3}°$ Р $= 8.506$, а фунта $D = 8.33$, для подразделений же его (т. е. золотников и долей) 8.5. При сличении фунтов *D* и *N* наблюдено стояние барометра 29.15 [дюйма] при 0° и температура воздуха 14.5° Р. Купфер, сличая *N* с *D*, не делает поправок на вес вытесненного ими воздуха, а исправляет только на 0.086 *д.*, потому что во всех расчетах принимает плотность всех гирь $= 8.51$. Такому приему нельзя отказать в рациональности, потому что он упрощает все расчеты, так как вес воздуха при применениях *D* мало отличался от веса при сличении *D* с *N*. Пусть, например, дано, что большой цилиндр в воздухе весит 25561 доли (это близко

к действительности) и при этом вес кубического дюйма воздуха был 0.450 *д*. Истинный вес в долях мы принимали, как и Купфер (в отношении не веса воздуха, а объема его), $= 25561 - \frac{25561}{3134}\,0.450 = 25557.32$ *д*. Здесь число 3134 есть вес кубического дюйма гирь, считая их плотность $=$ $=8.51$, по отношению к воде в $13^1/_3°$ Р. Разочтем теперь (не вводя пока поправки на 0.086 *д*.), какой получится вес, если вместо фунта *D*, взять фунт *N*? Из данных для сличения их видно, что при нем вес кубического дюйма воздуха $= 0.434$ *д*. (так как $H_0 = 740.40$ мм, $h = 10.03$ мм или $65^0/_0$, $t = 18.12°$ Ц, вес литра $e = 1.1781$), объем $N = \frac{9216}{368.3 \cdot 8.506} =$ $= 2.941$ куб. дюйма, объем $D = \frac{9216}{368.3 \cdot 8.33} = 3.004$. Следовательно (опять не обращая внимания на разность 0.086 *д*., которую мы примем во внимание впоследствии): $D - 0.434 \cdot 3.004 = N - 0.434 \cdot 2.941$, или истинный вес $D = N + 0.0273$ *д*. $= N\,1.00000295$. Теперь поправим вес 25661 *д*. 1) сперва на вес воздуха, 2) потом на вес примененного фунта. Объем 2 фунтов, или 18432 *д*. $= 6.004$ куб. дюйма, потому что применялся фунт *D*; объем остальных 7129 *д*. $= \frac{7129}{368.3 \cdot 8.5} =$ $= 2.278$ куб. дюйма, весь объем гирь $= 8.282$ куб. дюйма, следовательно поправка на вес вытесненного воздуха 3.7268 *д*., следовательно исправленный вес 25557.2731, но этот вес выражен в фунтах *D*; чтобы найти вес в *N*, надо умножить на 1.00000295, чрез что и получаем вес 25557.35 *д*., который отличается от вышенайденного всего на 0.02 *д*. Такая погрешность влечет за собою в весе кубического дюйма воды погрешность не более 0.0004 доли, т. е. совершенно впадающую в погрешность опыта. Поэтому следует для приведения взвешиваний, произведенных при помощи фунта *D*, к значению по нормальному «фунту Комиссии» *N* (по которому изготовлен затем и прототип русского фунта) принять во внимание лишь то, что *D* был тяжелее нормы (*N*) на 0.0860 *д*., т. е. полученные числа умножить на $\frac{9216.086}{9216}$, или на 1.00000933.

На основании этого сделан свод исправленных данных Купфера для веса кубического дюйма воды в пустоте при $13^1/_3°$ Р, выраж[енных] в весе истинного русского фунта:

	Доли
Малый цилиндр, вода первоначальная	368.389
» » » чистая	368.377
Большой цилиндр, вода первоначальная	368.371
» » » чистая	**368.324**

Мнение мое состоит в том, что брать среднее здесь никак нельзя, необходимо же взять лишь одно последнее число. Это я основываю на том, что первоначально взятая вода была, очевидно, не чиста и дала больший вес, чем лучше очищенная, а потому полученные с нею данные должно отбросить. Взять же число, полученное для малого цилиндра и чистой воды, я считаю неудобным потому, что оно вышло больше, чем для мало очищенной воды, когда взят был большой цилиндр,[2] т. е., по всей видимости, выше действительного, близкого к 368.324.

Судя по тому, что изложено выше, высшая, возможная в этом числе, погрешность едва ли превосходит ± 0.015 *д.*, можно даже полагать, что действительная погрешность гораздо того менее. Таким образом, вес кубического дюйма воды при $13^1/_3°$ Р можно принять весящим в пустоте от 368.31 до 368.34 доли. Поэтому из определений Купфера

---

[1] Число это по стройности данных для взвешивания заслуживает особого внимания, а потому, считая, как указано выше, плотность первоначальной воды равною 1.000128, вычисляем, что с чистою водою получилось бы 368.342, число, близкое к полученному для большого цилиндра с чистою водою. При этом не надо забывать, что погрешность объема малого цилиндра примерно в два раза больше, чем большого, а потому разность 0.018 *д.* дает повод думать, что погрешность для большого цилиндра не далека от ± 0.009 *д.* В данных же малого цилиндра, вероятно, скопились не только погрешности объема, но и взвешиваний, которые особенно велики, вероятно, при взвешивании в чистой воде.

[2] Купфер берет среднее из показаний, полученных с чистою водою, с малым и большим цилиндрами. Его выводы, относя к нормальному фунту (означенному чрез *N*), суть:

Малый цилиндр, вода первоначальная	368.399 *д.*
» » » чистая	368.380 »
Большой » » первоначальная	368.376 »
» » » чистая	368.341 »

Принял же он среднее из данных, полученных с чистою водою 368.361 *д.* Число это, несомненно, выше действительного, вытекающего из определений Купфера, потому что среднее из более правильно разочтенных (см. выше) данных для чистой воды и обоих цилиндров все же равно 368.351, т. е. только немногим более числа, полученного Купфером для чистой воды и большого цилиндра. Несмотря на абсолютное различие результатов расчетов моего и Купфера, все же последнее число оба раза вышло гораздо меньше трех первых.

должно вывести, что вес кубического дециметра чистой воды при $16^2/_3°$ Ц, в пустоте, близок к 998.736 г, а при наибольшей плотности к **999.846** г.

Вес этот значительно меньше того, который получен из определений Жино (999.966), но для объяснения этой разности достаточно сделать предположение о том, что у Жино была взята вода, не совершенно очищенная, подобная первоначальной воде Купфера. Разделяя приведенные выше числа друг на друга, получаем для воды Жино плотность 1.000120, меньшую даже, чем для воды, первоначально взятой Купфером. Справедливость такого предположения или его неверность, т. е. объяснение различия по другим причинам, дающим повод к неточностям (в отношении к эквивалентам единиц мер и веса, к плотности воды, к погрешности объемов и т. п.), могут решить только последующие опыты. Вопрос остался бы открытым, если бы не явилось новых определений: такие новые, и притом прекрасно обставленные, опыты имеются в литературе предмета. Их дал в недавнее время директор английского «Standards Department» г. Ченей, к расчету исследований которого мы теперь переходим.

IV. В 1892 г. в «Philosophical Transactions» Лондонского королевского общества (Royal Society) (v. 183A, стр. 331—354) явилась статья г-на **Ченея** под названием «Redetermination of the mass of a cubic inch of distilled water» by H. I. Chaney, первоначально сообщенная Обществу в заседании 19 июня 1890 г. Ченей обратил большое внимание на перегонку воды, каждый раз пред опытом ее кипятил, имел для сравнений под руками английские прототипы как длины (не только ярда, но и 9, 6 и 3 дюйма концевые 1884 г., а также деленный дюйм, выверенный в 1868 г.), так и веса, исправил все свои линейные измерения не только по отношению к основному прототипу, но и по отношению к температуре, при компарировании пользовался приемом Физо—Корню (по отраженному изображению близкого острия), термометрические показания исправил во всех отношениях;[1]

[1] Здесь есть, однако, одно обстоятельство, наводящее на сомнения, а именно то, что часть термометров проверена в Киу и, следовательно, дает показания «ртутного» термометра, другая же часть выверена в Париже (в Bureau Intern. d. Poids et Mesures), т. е. исправленные показания таких термометров дают температуру по «водородному» термометру, а о взаимном сличении термометров, или о том, [какой] термометр применялся каждый раз, не сказано. Таким образом, в сотых долях градуса в температурах можно ждать погрешностей.

вес разновесов также исправил по их взаимному сличению и по отношению к прототипу, погружение подвесок в воде наблюдал одинаковое, на появляющиеся при погружении в воду исследуемых тел воздушные пузырьки обратил должное внимание, способ взвешивания применял двойной, так что гири и взвешиваемый предмет действовали на одно плечо весов, чувствительность которых достигала в воздухе даже до $\frac{1}{10000}$ грана (но при взвешивании в воде понижалась до $\frac{1}{100}$ грана $=0.64$ миллиграмма),— словом все, что было возможно сделать для увеличения надежности результата, было применено г-ном Ченей. Поэтому его исследования, по справедливости, должно считать весьма много дополнившими то, что сделано его предшественниками.[1]

Самое большое из тел, изученных Ченеем, был цилиндр C из бронзы (пушечного металла), на поверхности его выгравированы 8 диаметров и соответствующих им производящих, параллельных оси, затем круги на каждом основании и с боковой поверхности 3 круга, чтобы при измерениях точно означить места определяемых высот и диаметров. Углубления от нарезки были измерены и объем исправлен в этом отношении (поправка $=0.02648$ куб. дюйма). Высота определялась в 17 местах (в центре, в 8 пересечениях диаметров с кругами и в 8 местах по окружности), в каждом по 5 раз в отдельные дни (от 1 по 13 ноября 1888 г.), при каждом определении отсчитывался термометр и делалось компарирование с нормою в 9 дюймов, в свою очередь сличенною с прототипом. По приведении всех величин к 62° Ф, полу-

---

[1] При таких выдающихся достоинствах опытных данных в мемуаре г-на Ченея, к величайшему сожалению, вкрались некоторые погрешности расчета (например, для цилиндра Q при расчете его веса в пустоте), и все результаты сведены к весу дюйма воды при 62° Ф в «нормальном» воздухе английских метрологов, так что читателю совершенно не ясно отношение между числами, полученными другими наблюдателями и новыми исследованиями. По этой причине, несмотря на большую точность и сравнительную недавность, исследования г-на Ченея мало обратили на себя общее внимание, и по этой же причине я счел необходимым совершенно вновь перечислить все опытные данные г-на Ченея. Так как, при столь сложных и многочисленных расчетах, какие пришлось мне делать в этой статье, легко сделать ошибки счисления, тем более, что логарифмы иногда были недостаточны, то все расчеты, особенно окончательные (для Купфера и Ченея), проверены на счетной машине В. Д. Сапожниковым. Так, вообще, заведено в Главной палате: всякие расчеты проверяются, по крайней мере, двукратно, причем счетная машина г-на Однера оказывает большую помощь.

чена средняя высота 9.00202 дюйма. Точно так же измерены по 5 раз в 40 местах (по линиям и кругам боковой поверхности) диаметры цилиндра и при 62° Ф средний диаметр 9.00115 дюйма. Эти измерения дают объем 572.83013 куб. дюйма, а за вычетом емкости линий, награвированных на C, объем при 62° [Ф.] = **572.80365** куб. дюйма. По определениям Физо, кубическое расширение бронзы с температурою, в градусах Цельзия, должно быть выражено

$$1 + 0.00005106\,t + 0.00000003\,t^2,$$

а потому на 1° Ц при $16^2/_3$° коэффициент кубического расширения = 0.00005206, а на 1° Ф = 0.00002892, следовательно, на каждый градус Фаренгейта поправка объема цилиндра C равна 0.01657 куб. дюйм.

Два взвешивания цилиндра C в воздухе были произведены до погружения в воду и два после взвешивания в воде (16, 19, 22 и 29 ноября 1888 г.):

Вес в воздухе, в гранах	Температура воздуха [по Фаренгейту]	Барометра давление при 0°, в дюймах
183676.336	57.5°	29.98
183676.259	57.3	29.98
183676.248	60.1	30.22
183676.302	58.2	29.34
Среднее . 183676.286	58.27	29.88

Уд. вес гирь 8.0298, следовательно, кубический их дюйм весит около 2029 гранов, а потому объем гирь, бывших в деле, около 90.525 куб. дюйма. Объем же цилиндра C — около 572.743 куб. дюйма, а потому к его весу должно прибавить вес 482.218 куб. дюйма воздуха. [Если] полагать в воздухе 66.7% влажности (как принято в Лондоне), средний вес литра воздуха был в предшествующих определениях = = 1.2216 г (потому что $H_0 = 758.94$ мм, $h = 8.24$ мм, $t =$ = 14.6° Ц), следовательно 1 куб. дюйм воздуха весил 0.3089 грана. Поэтому истинный вес цилиндра в пустоте = **183825.243** грана.

Взвешиваний в воде было 6 (от 20 до 29 ноября 1888 г.). Средний (от 39090.50 до 39141.86 грана) вес в воде =

$=39111.49$ грана, при средней температуре воды 58.40° Ф (от 58.38 до 61.42°) при температуре воздуха 57.37° Ф и при среднем давлении 29.92 дюйма.

Довольно значительные разности веса Ченей предполагает зависящими не только от перемен температуры воды, но и от мелких пузырьков воздуха, которые нельзя было удалить. Чтобы разобраться в этом отношении, располагаем сперва все данные опыта по порядку температур воды:

1881 г., ноябрь	Температура воды [по Фаренгейту]	Наблюденный вес в воде, в гранах	Температура воздуха [по Фаренгейту]	Барометра давление при 0°, в дюймах	Вес кубического дюйма воздуха, в гранах
22	56.38°	39109.87	56.5°	30.22	0.314
27	57.61	39090.50	56.8	29.38	0.305
29	58.00	39125.00	58.2	29.34	0.303
21	58.10	39109.85	57.2	30.15	0.312
20	58.87	39091.84	56.0	30.14	0.313
24	61.42	39141.86	59.5	30.30	0.312

В последнем столбце дан (вычисленный по стр. 114) вес кубического дюйма воздуха в гранах, чтобы можно было привести данные к пустоте, что и сделано во втором столбце следующей таблицы, принимая, что 1 куб. дюйм гирь весит 2029 гран. Затем для каждого определения разочтен вес p_t вытесненной воды, что и дано в третьем столбце. Далее разочтен ее вес, который получился бы, если бы температура воды была средняя и $=58.40°$ Ф. Для получения этого веса следует знать удельный вес воды s_t при температуре опыта, что и дано в четвертом столбце, а так как удельный вес при 58.40° Ф ($=14.67°$ Ц) $=0.999201$, то вес p_t следует разделить на s_t и помножить на указанное число. Но так как объем цилиндра изменяется с температурою $t°$ Ф так, что один объем при 58.4° Ф дает при $t°$ $1+0.00002887\ (t-58.4)=1+kt$ (дано в пятом столбце), то полученный вес должно разделить на $1+kt$. Таким образом получится вес вытесненной воды, отвечающий каждому определению и средней температуре 58.40° Ф. Он дан в последнем столбце и, очевидно, равен

$$\frac{p_t\,0.999201}{s_t(1+kt)}.$$

	Температура, $t°$, по Фаренгейту	Истинный вес в воде [при] $t°$	Вес вытесненной воды pt	Удельный вес воды при $t°$	$1 + kt$	Вес вытесненной воды при 58.4° Ф
1)	56.38°	39103.82	144721.42	0.999355	0.999962	144704.64
2)	57.61	39084.62	144740.62	0.999262	0.999977	144735.13
3)	58.00	39119.16	144706.08	0.999233	0.999988	144703.46
4)	58.10	39103.84	144721.40	0.999224	0.999994	144718.90
5)	58.87	39085.81	144739.43	0.999162	1.000014	144743.04
6)	61.42	39135.84	144689.40	0.998895	1.000087	144733.66

Брать общее среднее из всех полученных данных я считаю неправильным, потому что г-н Ченей прямо пишет (l. c., стр. 347), что пузырьки воздуха были замечены и не могли быть удалены. А они уменьшали вес цилиндра *C* в воде, следовательно увеличивали вес вытесненной воды, а потому не подлежит сомнению: 1) что в определениях 2-м, 5-м и 6-м было больше пузырьков, чем в остальных, а потому указанные определения я вовсе не принимаю для дальнейшего расчета; 2) что и в остальных определениях, по всей вероятности, вес вытесненной воды в действительности был не больше 144703 гранов, потому что при столь большом теле с награвированными на нем чертами, как цилиндр *C*, весьма мало вероятности удалить все пузырьки воздуха, а это дает повод полагать, что истинный вес кубического дюйма еще немного меньше, чем выводимый далее из 1-го, 3-го и 4-го определений, которые одни взяты мною для дальнейшего расчета. По этим последним данным вес (в пустоте) воды, вытесненной цилиндром *C* при 58.4° Ф, в среднем равен или немного менее **144709.00** англ. гранов. А так как объем цилиндра *C* при этой температуре = = 572.80365 — (62 — 58.4) 0.01657 Ф[1] = 572.75407 куб. дюйма, то вес кубического дюйма воды, в пустоте, при 58.4° Ф равен или немного менее 252.6547 англ. грана. Следовательно, вес кубического дюйма, в пустоте, при наибольшей плотности воды равен или немного менее 252.8567 англ. грана (так как удельный вес воды при 58.4° Ф = 0.999201), а вес кубического дециметра, при тех же условиях, равен или *немного менее* **999.858** г. Результат этот хорошо согласуется с тем, который выведен выше из определений Купфера (999.846 г), а вследствие этого мы в дальнейшем

[1] Это число есть среднее изменение объема *C* на 1° Ф в пространстве от 62 до 58° Ф.

изложении еще раз возвратимся к расчету совокупности лучших определений Купфера и Ченея.

Второе тело, примененное г-ном Ченеем в исследовании, был латунный, внутри пустой, шар *S*, который был так легок, что всплывал на воде и требовал такой подвески, которая увеличивала бы его вес при погружении в воду, так что при этом определялся не положительный, а отрицательный вес.[1] Измерение диаметра, близкого к 6 дюймам, произведено в 8 точках, отстоящих на одинаковое угловое расстояние друг от друга, и после приведения к 62° Ф и за вычетом объема линий, начерченных на шаре, объем при 62° оказался равным **112.6694096** куб. дюйма. Совершенство формы шара (8 диаметров, измеренных по 6 раз в отдельные дни, дали при 62—64° Ф разности от среднего, не превосходящие 0.00008 дюйма) и хорошее согласие взвешиваний дают г-ну Ченею повод (l. c., стр. 354) считать результаты, полученные с шаром, за наилучшие из найденных им. На 1° Ф изменение объема = 0.003400 куб. дюйма.

Взвешиваний в воздухе сделано было 5 (4 до и 1 после погружения в воду), и они столь между собою согласны (наибольшая разность, но и то явно зависящая от веса воз-

[1] Для полноты изложения привожу данные Ченея для взвешиваний *S* в воздухе:

1888 г.	Вес в воздухе, в гранах	Температура, по Фаренгейту	Барометра давление, в дюймах
10 дек.	28410.113	61.65°	30.17
11 »	28409.813	57.70	30.26
12 »	28409.802	60.28	30.37
17 »	28409.917	58.32	30.35
18 »	28409.918	58.10	30.18

Привожу также и результаты 5-ти взвешиваний в воде шара *S*:

1888 г.	Вес в воде, в гранах	Температура воды, по Фаренгейту
12 дек.	—27.02	54.58°
12 »	—27.01	54.72
13 »	—24.70	56.63
17 »	—23.72	57.60
18 »	—23.65	57.48

духа, не превосходит 0.3 грана), что следует взять среднее: вес в воздухе 28409.913 грана, $t = 59.21°$ Ф (15.12° Ц), $H_0 = 30.27$ дюйма (768.85 мм). Это дает $e = 1.2349$, следовательно вес кубического дюйма воздуха = 0.3123. Объем шара 112.66, уд. вес гирь 8.143 (1 куб. дюйм = 2054 гранов), объем гирь = 13.83 куб. дюйма. Поправка веса + 30.865 грана, следовательно вес шара S в пустоте = **28440.778** англ. грана.[1]

Вес шара S в воде определялся 5 раз (от 12 до 18 декабря 1888 г.), данные опять между собою представляют такое согласие, что для расчета берем лишь среднее (от —27.02 до —23.65 г) показание. К подвеске с шаром, как сказано выше, должно было прибавлять груз для того, чтобы возможно было погружение в воду, и средняя его величина 25.22 грана, при средней $t = 56.20°$ Ф (= 13.44° Ц), температура воздуха 59.28° Ф, давление 30.31 дюйма, вес в пустоте = — 25.22, откуда вес, в пустоте, воды, вытесненной шаром S, = **28466.00** гранов; объем шара S при 56.20° Ф = 112.64269; следовательно, вес, в пустоте, кубического дюйма воды в 56.20° Ф = 252.694 грана. А так как уд. вес воды по отношению к ее наибольшей плотности при 56.2° Ф = 0.999368, то вес, в пустоте, кубического дюйма воды при 4° = **252.8540** англ. грана. Число это заслуживает особого внимания по той причине, что для цилиндра C мы вывели 252.8567, но с тем, что действительное число, по всей вероятности, должно быть немного менее найденного для C (вследствие присутствия пузырьков воздуха), а здесь, в совокупности данных г-на Ченея, для шара S как раз и вышло число, немногим меньшее: 252.854 грана. Поэтому вес, в пустоте, кубического дециметра воды при 4°, вероятно, ниже 999.858, по C, и, вероятно, судя по S, близок к **999.848.**

Сверх описанных определений, г-н Ченей сделал еще ряд измерений с помощью кварцевого (горнохрустального) цилиндра Q, но я не считаю необходимым описывать эти определения и принимать их для вывода, так как: 1) объем Q был сравнительно мал, всего 23.04 куб. дюйма (т. е. почти в 5 раз менее S и почти в 25 раз менее C), а это делает все измерения объема относительно менее надежными; 2) перемены температуры воды, при взвешивании в воде, были очень велики и быстры, а именно 3 января 49.92°, 4 января 62.75° и 5 января 53.03° Ф в воде, при взвешивании же до погружения в воздухе 3 января температура была 57.35°, а после погружения 57.33°, поэтому

[1] Г-н Ченей вывел совершенно тождественное число 28440.772 грана.

нельзя думать, что при взвешиваниях было достигнуто температурное равновесие; 3) в отчете о взвешивании в воде (стр. 350) не указан истинный вес суммы гирь, как это сделано для C и S;[1] 4) Ченей сделал расчет и нашел, что по Q получается почти (немного меньший) такой же вес кубического дюйма воды, как по C, но придает этому выводу (l. c., стр. 354) в 5 раз меньшее значение (вес), чем выводу, полученному по C, и в 15 раз меньший, чем выводу по S, считая, что и при такой неравномерной степени доверия к отдельным выводам, в среднем результате будет погрешность ± 0.0002 грана на вес кубического дюйма в гранах.

Вообще же я держусь того мнения, что из разнообразных определений можно, а иногда и должно, брать средние только тогда, когда относительное достоинство определений или совершенно неизвестно или ничем ясно не определяется;

---

[1] Об этом обстоятельстве я писал г-ну Ченею, прося его указать пропущенные числа. В ответном письме (от 20 мая н. с. 1895 г.) г. Ченей дает следующие числа для 3 взвешиваний в воде:

3 января	9611.000 гран.	при t воды	$= 49.92°$ Ф
4 »	9611.797 »	» » »	$= 53.03$
5 »	9614.800 »	» » »	$= 62.75$
Среднее	9612.532 грана	при t воды	$= 55.23°$ Ф $= 12.91°$ Ц.

Далее он пишет, что уд. вес гирь был $= 8.49243$. В мемуаре даны сверх того, температура воздуха, средняя $= 57.60°$ Ф и среднее давление $H_0 = 30.71$ дюйма. Отсюда вес кубического дюйма воздуха $= 0.318$ грана. Объем гирь 4.478, а потому истинный вес в воде 9613.956 грана. Вес цилиндра Q в воздухе по двум тождественным взвешиваниям $=$ $= 15426.68$ грана, когда $H_0 = 30.81$ дюйма и $t = 57.34°$ Ф. Отсюда вес кубического дюйма воздуха $= 0.319$ грана, объем гирь $= 7.186$ куб. дюйма, объем $Q = 23.040$ куб. дюйма, вес вытесненного воздуха $= 5.70$ гран, следовательно, вес Q в пустоте 15432.38 грана (г. Ченей дает 15429.55515). Объем Q при 62° Ф определен г-ном Ченеем равным 23.04015 куб. дюйма, а около 15° Ц коэффициент кубического расширения горного хрусталя по определениям Benoit (Travaux et Mémoires d. Bureau Intern., 1888, t. VI, стр. 190) на 1° Ц должно принять $= 0.0000346$ или на 1° Ф $= 0.0000192$; следовательно, для Q на 1° Ф поправка объема $= 0.000442$, а потому объем Q при $55.23°$ Ф $= 23.03716$ куб. дюйма. Поэтому вес в пустоте кубического дюйма воды при $55.23°$ Ф

$$\frac{15432.38 - 9613.956}{23.03716} = 252.592 \text{ грана.}$$

А так как уд. вес воды при $55.23°$ Ф $= 0.999435$, то из определений по Q следует, что при наибольшей плотности, в пустоте, кубический дюйм воды весит 252.735 [грана], или 16.3769 г. Это число меньше тех, которые дали C и S, и приближает к тому, что выше выведено из данных Купфера, так что, вообще, согласуется с выводом, нами найденным, но я его не беру для окончательного вывода, так как объем Q очень мал.

когда же одно из чисел представляет заведомо больше гарантий точности, чем другие, оно одно должно быть взято, оставляя безо всякого внимания числа, заведомо представляющие или худшие условия опыта и наблюдения, или какие-либо поводы к сомнению. Так, из данных Ченея число, получаемое из определений, произведенных с шаром *S*, заслуживает больше внимания для окончательного вывода, чем числа *C* и *Q*, подобно тому как между многими определениями Купфера заслуживают внимания лишь те, которые относятся к воде, заведомо чистой, и к большому цилиндру. Брать во внимание с тем или иным «весом» худшие числа — значит, по моему мнению, нарочно портить лучшие из чисел, особенно если эти последние объясняют недостатки в худших определениях, как, например, число, полученное по *S*, объясняет число, полученное для *C*. Но так как на поверхности шара *S* были, как на *C*, черты, и в них легко могли удерживаться малозаметные пузырьки воздуха, то можно полагать, вследствие той большой стройности, какую представляют определения Ченея, что истинный вес определенного объема воды едва меньше, чем дает *средний* выше данный вывод для шара *S*. Близкое к этому число мы находим также и у Купфера, в лучших его определениях. Но, судя по давности времени, когда произведены эти определения, и по тому, что в измерительных приборах, особенно компараторах Купфера, не было той степени совершенства исполнения, как в приборах Витворта и Симса, которыми пользовался г. Ченей, в определениях Купфера можно предполагать неменьшую относительную погрешность, чем у Ченея, а потому лучше всего остановиться на среднем из лучших определений обоих этих наблюдателей. На основании соображений этого рода должно было остановиться для веса кубического дециметра воды, в пустоте, при наибольшей плотности воды, т. е. при 4° Ц, на среднем из:

Купфер	999.846 г
Ченей	999.853 »
Среднее из них	**999.850** г.

Возможная погрешность в этом среднем, по всей вероятности, не превосходит несколько миллиграммов, и надо полагать, на основании соображений равного рода, что истинное число немного ниже этого среднего предварительного вывода.

Определения Шукбура — Кетера дали число (1000.55 г), очевидно, чересчур большое, и вероятнейшими для того

причинами служили, по моему мнению, нечистота воды (ее плохое очищение) и несовершенство взвешиваний. Определения Жино дают уже меньшее число: 999.966; его высота, по всей вероятности, более всего определяется недостаточным очищением воды. Главную заслугу Купфера составляет то, что он обратил должное внимание на этот последний предмет. Исследования же г-на Ченея оправдали лучшие результаты Купфера, так как разность лучших данных Купфера и Ченея не превосходит миллиграммов на кубический дециметр.

Но, хотя предшествующий средний вывод из лучших данных Купфера и Ченея (999.850 г) по разъясненным обстоятельствам, несомненно, должно считать гораздо более вероятным, чем средний вывод из совокупности всех достоверно известных данных Шукбура, Жино или даже одних Купфера и Ченея, тем не менее, мне кажется, что в рассматриваемом предмете можно идти еще до большей меры точности, чем это сделано при предшествующем выводе. Для этого следует подробнее рассмотреть еще раз лучшие из определений Купфера и Ченея, а за лучшие должно считать такие из них, которые дали бо́льший вес в воде или «низший» вес воды, вытесненной цилиндром и шаром, потому что только при определении их или не было вовсе пузырьков воздуха, или было их наименьшее количество, и если, отбирая такие определения, мы встретим между ними сходство, то полученное этим путем число должно будет предпочесть не только общему среднему, но и выше найденному выводу. Так я и поступаю далее.

Чисел Купфера для взвешиваний большого цилиндра в воде всего 5, полученных из 20 взвешиваний (стр. 147). Расчет, сделанный выше, дан для общего среднего, теперь же я разочту каждый из 5 рядов, состоящий из 4 взвешиваний, отдельно:

Температура, по Реомюру, $t°$	Исправленный вес при t вытесненной воды, в D	Тот же вес, в N (истинный вес, стр. 150)	Удельный вес воды при $t°$ Р	Вес вытесненной воды при $13^1/_3°$ Р, по (A)
1) 12.73	18380.33 *д.*	18380.50	s_t=0.999013	18378.99
2) 12.79	18380.34 *д.*	18380.51	=0.999001	18379.14
3) 13.65	18378.16 *д.*	18378.33	=0.998824	18379.20
4) 13.84	18377.71 *д.*	18377.88	=0.998782	18379.23
5) 13.99	18377.47 *д.*	18377.64	=0.998749	18379.40

Для расчета веса воды, который получился бы, если бы температура воды и цилиндра была $= 13^1/_3{}^\circ$ Р, во-первых, приведены данные в таблице плотности воды s_t (стр. 113) и, следовательно, при $13^1/_3{}^\circ$ Р $= 0.998890$, а во-вторых, принято, что изменение объема большого цилиндра на каждый градус Цельзия (стр. 144), около $13^1/_3{}^\circ$ Р, равно $V \cdot 0.00005437$, а на каждый градус Реомюра $= V \cdot 0.00006796$, а так как V при 13.33° Р $= 49.89931$ куб. дюйма, то объем при t° Р $=$ $= 49.89931 + 0.003391\ (t - 13.33)$. Поэтому из данного для t° Р веса воды p_t получен вес ее при 13.33°Р по формуле

$$p_{13^1/_3{}^\circ} = p_t \frac{0.998890}{s_t} \frac{49.89931}{49.89931 + 0.003391\,(t - 13.33^\circ)} = \\ = p_t \frac{0.998890}{s_t\,[1 + 0.000068\,(t - 13.33^\circ)]}. \qquad (A)$$

Числа последнего столбца показывают, что с возрастанием температуры вычисляемый вес воды при 13.33°Р немного возрастает. Это можно было бы объяснить возрастанием числа пузырьков воздуха, по мере увеличения температуры, но такое объяснение было бы, по меньшей мере, произвольным; притом разности малы. Гораздо естественнее допустить, что коэффициент расширения латуни был немного иной, чем принятый нами, а именно, был меньше 0.00006796. Но если это так, то при высших температурах должны получаться числа более действительных, а при низших — менее, следовательно, в среднем результате ошибка этого рода почти исчезнет, так как низшая температура отличается от 13.33° на 0.60° Р, а высшая на -0.66° Р. Следовательно, общий средний результат для $13^1/_3{}^\circ$ Р, т. е. 18379.19, представляет совокупность данных наиболее точно.[1] Поэтому принимаем вес воды (в пустоте) при 13.33° Р $= 18379.19$. А так как объем тогда $= 49.89931$ куб. дюйма, то вес [куб.] дюйма воды при 13.33° Р $= 368.3255$ *д.*,[2] или **16.366507** г.

Из взвешиваний в воде цилиндра Ченея C, как уже показано на стр. 156, «низший» вес воды, отвечающий средней температуре 58.40° Ф, есть 144703.46 грана, затем следует,

---

[1] Результат этот очень близок (по приведению к $N = 18379.15$) с полученным на стр. 149.

[2] Вывод этот настолько сходен с ранее сделанным 368.324 *д.* (в долях по N, стр. 151, на стр. же 149 для D), что это, с одной стороны, показывает прекрасные достоинства рассматриваемых наблюдений Купфера, а с другой — указывает, что при разных приемах расчета результат мало изменяется.

по величине, вес, приведенный к той же температуре и мало от предшествующего отличающийся, 144704.64 грана. Разность их мала (а у других уже велика, и, следовательно, их взять нельзя), и я предпочитаю взять из них среднее, по той причине, что сам г. Ченей (l. c., стр. 339) допускает при взвешивании C в воде погрешность до 3 гранов, зависящую не от пузырьков, а от небольших изменений температуры воды. Таким образом, «низший» вес (в пустоте) воды, вытесняемый цилиндром C при 58.4° Ф, принимаем 144704.05 грана.[1] При этой температуре объем цилиндра $C = 572.75407$ куб. дюйма, а потому вес в пустоте при 58.40°, одного кубического дюйма, на основании лучших определений с C, равен 252.6460 грана. Так как уд. вес воды при этой температуре (0.999201) относится к уд. весу при 62° Ф (0.998890) как 1.000311 : 1, то при 62° Ф вес кубического дюйма равен 252.5675 грана, или **16.36609** г. Число это оказывается действительно очень близким к найденному выше из данных Купфера, в чем я вижу подтверждение справедливости соображений, взятых мною в основу окончательного расчета.

Для шара Ченея S взвешивания в воде дали следующие результаты для веса вытесненной воды:

Температура воды $t°$, по Фаренгейту	Вес вытесненной воды при $t°$, в гранах	Уд. вес воды при $t°$, S_t	Вес вытесненной воды при 56.20° Ф по (B), в гранах
54.58	28467.80	0.999479	28466.07
54.72	28467.79	0.999469	28466.21
56.63	28465.48	0.999333	28466.11
57.48	28464.43	0.999272	28466.11
57.60	28464.50	0.999264	28466.29

Последний столбец разочтем по формуле:

$$p_{56.2°} = p_t \frac{0.999369}{s_t [1 + 0.00003010\ (t - 56.2)]}, \qquad (B)$$

состав которой понятен из предшествующего и отнесен к градусам Фаренгейта.

Большое соглашение между цифрами последнего столбца заставляет взять среднее: 28466.16 грана, объем при 56.2° =

[1] На стр. 156 взято 3 данных, здесь 2, там вышел вес воды 144709.0 гран., здесь 144704.05, а потому и вывод немного уменьшился.

=112.64969, а потому вес, в пустоте, 1 куб. дюйма воды при 56.2° Ф = 252.6963 грана, а при 62° Ф = 252.5752 грана, или **16.36660** г. Согласие этого числа с предшествующими окончательно укрепляет уверенность в том, что избранный мною путь расчета приводит к вероятнейшему выводу.

Таким образом, избирая заведомо лучшие определения для веса 1 дюйма воды при 62° Ф = 13⅓° Р, в пустоте, имеем:

		Объем воды, в кубических дюймах	Число взятых взвешиваний в воде	Вес кубического дюйма воды при 62 °Ф, в граммах	Принятый «вес» определений
I	Купфер, 1841 г. .	около 50	20	16.36651	20
II	Ченей, 1892 г. .	» 573	2	16.36609	23
III	» 1892 г. .	» 113	5	16.36660	11

В последнем столбце дан тот «вес» (множитель), с которым взято каждое определение для вывода среднего. При этом я считал, что «вес» этот тем более, чем больше был взвешиваемый объем воды и чем большее число взвешиваний в воде служило для вывода результата. Так, для I получаем около 1000, II 1146 и III 565. Отношение, близкое к указанному, но более простое, принятое для расчета, дано в последнем столбце.[1] Умножая каждое число на его вес и деля сумму полученных чисел на сумму «весов» (т. е. на 54), получаем как вероятнейший вес, в пустоте, кубического дюйма воды при 62° Ф = 13⅓° Р : **16.366349** г.[2] А так как

[1] Может показаться на первый взгляд, что число, полученное Купфером, заслуживает особого доверия, т. е. должно входить с бо́льшим весом (множителем). Но средние числа, с которыми приходится иметь дело, зависят в сильной мере от точности в измерении объемов, следовательно, как от размеров погружаемого предмета, так и от способов компарирования. Они же у Купфера, без сомнения, менее, чем у Ченея, соответствовали точности результата, так как у этого последнего и объем погружаемых тел был больше, и точность измерений диаметров и высот была большей, чем у Купфера. Различие чисел Купфера и Ченея могло зависеть исключительно не от взвешиваний, а от погрешностей в измерении объемов. По всему этому справедливость заставляет придавать совокупности чисел Ченея даже больший «вес», чем числу Купфера, определения которого, произведенные с большим цилиндром, тем не менее должно отнести к числу немногих из достовернейших.

[2] Рассчитывая вероятную погрешность этого среднего, по правилам теории вероятностей, получаем едва ± 0.000024 грана на дюйм, или 0.0015 г на кубический дециметр, но более вероятно, что действительность несколько значительнее отличается от среднего.

удельный вес воды при указанной температуре = 0.998890, то при температуре наибольшей плотности воды получается вес кубического дюйма воды = 16.384536 г. Поэтому вероятнейший вес кубического дециметра воды, в пустоте, при температуре 4°Ц, т. е. при наибольшей плотности:

999.840 г.

Наибольшая возможная погрешность этого вывода, судя по возможной погрешности в определении объемов и по различию среднего результата от отдельных определений, едва ли может быть более ± 0.02 г; вероятная же погрешность, без сомнения, не превосходит нескольких миллиграммов, так что будущие, более точные определения, по мнению моему, дадут число, находящееся в пределах

от 999.82 до 999.85 г.

Предел возможных уклонений от среднего в сторону низшего веса я повысил по той причине, что все же можно думать, что некоторое количество небольших пузырьков воздуха могло быть даже в взятых для расчета «низших» определениях как у Купфера, так и у Ченея.

Таким образом: 1) вес в пустоте кубического дециметра чистой воды при наибольшей ее плотности, т. е. при 4° Ц, ныне бесспорно должно признать гораздо меньшим, чем 1000 г, и только тогда можно признавать равным килограмму, когда погрешность в десятитысячных веса значения не имеет.

2) Когда же требуется возможная точность, вес этот должно признавать равным 999.840 г; но и тогда можно ждать погрешности, достигающей до нескольких миллиграммов.

3) Литр воды, т. е. количество ее, весящее при 4° Ц 1000 г, при 0° 999.873 г, при 15° Ц 999.152 г, занимает объем 1000.160 $см^3$.

4) Вес в пустоте кубического дюйма (английского или русского) чистой воды при наибольшей ее плотности (т. е. при 4° Ц, или 3.2° Р, или 39.2° Ф) равен 368.731 доли русск. фунта, или 252.852 англ. грана, или 16.3845 г ($\log = 1.2144332$).

5) В пустоте вес кубического дюйма чистой воды при нормальной (для русской или английской метрологии) температуре $13^1/_3$° Р, или 62° Ф, или $16^2/_3$° Ц (уд. вес воды

0.998890) равен 368.322 доли русск. фунта, или 16.3663 г, или 252.571 англ. грана, с погрешностью в стотысячных долях веса.

6) В воздухе, литр которого весит 1.22 г (примерно таков вес «нормального воздуха» английских метрологов), при взвешивании гирями, уд. вес которых 8.5, предшествующие веса должно уменьшить на $^1/_{929}$ часть, например в таком воздухе 1 куб. дюйм воды при 62° Ф весит 252.299 англ. грана.

7) В обыденной (строительной, заводской и т. п.) практике, где нет ни «чистой» воды, ни возможности точных измерений (температур, веса вытесненного воздуха и т. п.), при обычных условиях температуры вес кубического дециметра воды можно принимать при очень грубых расчетах за 1000 г, а при более строгих — около 999 г, или $^6/_{100}$ русск. пуда (2.4 русск. фунта), вес кубического фута воды — в 69 русск. фунтов, или 62 англ. фунта, вес же 1 куб. сажени воды — в 600 пудов; для простоты же некоторых расчетов можно, согласно с предложением, сделанным Купфером, принимать, что русский фунт воды при обыкновенной температуре занимает объем в 25 куб. дюймов.

Из обзора существующих сведений об объемном весе воды становится очевидным, что в лучших из современных определений все же *можно* предполагать погрешность в стотысячных частях веса, или на литр в миллиграммах и даже сантиграммах. А так как вес в 1000 г можно с уверенностью и сравнительно легко определять с точностью до миллионных долей (т. е. даже до миллиграмма), то очевидно, что в рассматриваемом предмете должно ждать новых, более совершенных исследований, для которых наиболее приличными местами должно считать центральные учреждения, назначаемые в странах для выверки и хранения прототипов (основных) мер и весов. Главная палата мер и весов, составляя новое русское учреждение сего рода, имеет в виду, когда позволят другие, более настоятельные работы, приступить со временем к выполнению подобной задачи, а потому я остановлюсь за сим над указанием тех приемов, которыми предполагаю осуществить предстоящее исследование, надеясь, что могущие встретиться иные указания и замечания помогут успеху этого дела, выполнение которого со всею возможною точностью может иметь свое значение не только в самой метрологии, но и в обыденной жизни.

Главные причины сравнительно небольшой точности, достигнутой доныне отдельными измерениями, определяются, по моему мнению, не только тем, что на качество взвешиваемой воды (или на ее плотность) было обращено, особенно до Купфера, малое внимание, но и тем, что применяли всегда способ гидростатического взвешивания, а он приводит к почти безысходной дилемме: взвешиваемое тело приходится или брать сравнительно *небольших размеров*, но тогда точность страдает от неизбежных погрешностей в определении линейных размеров, хотя взвешивания и делаются с желаемою точностью, или же, прибегая к телам сравнительно *больших размеров*, достигают желаемой точности в относительном измерении объемов, но при взвешиваниях невозможно гарантировать полное отсутствие пузырьков, и вообще получается ряд практических трудностей, зависящих от сочетания условий точного взвешивания, большой массы воды и громоздкого предмета, висящего на тонких проволоках, а чрез это входят ошибки веса и получается неверный (обыкновенно высший) вес воды. Обдумывая предмет с различных сторон, я пришел к заключению, что высшей степени точности можно достичь только тогда, когда будет оставлен гидростатический прием. Он легко может быть заменен многими иными, из которых я упомяну здесь о тех двух, которые, если позволят обстоятельства, предполагается применить в нашей Палате.

Пусть, например, будет изготовлен из металла легкий, внутри пустой, геометрически возможно правильный предмет — цилиндр или лучше шар — довольно значительной величины, как то требуется для точного измерения линейных измерений, например шар диаметром около в полметра (объем около 65.45 дм^3).[1] Такой шар следует сделать легче воды, и чрез оставленное в оболочке небольшое, легко запираемое отверстие увеличивать вес (вводя или воду, или какие-либо другие вещества) до тех пор, пока шар в воде желаемой температуры начнет медленно тонуть. Повышая и понижая температуру воды, можно будет установить ту температуру, при которой вес шара и воды будут одинаковы. А изменяя вес содержимого, можно довести шар до такого

---

[1] При таком объеме одна миллионная доля веса воды составит уже около 65 мг, т. е. вес, десятые доли которого легко находимы при 65 кг, а погрешность в определении объемов повторенными измерениями диаметров, со всеми предосторожностями, может быть доведена до такой же величины, хотя это и труднее.

веса, что он будет равен весу воды как раз при той средней температуре, при которой определены размеры диаметров шара, так что сведений о расширении шара при этом собирать не придется. Искомый вес найдем при этом, сделав сперва определения при низшей температуре, а потом при высшей, чем желательная. Таким образом, взвешивая шар лишь в воздухе, найдем вес воды равного объема, и дело сведется, в сущности, преимущественно на определение температур воды. Вес же в воздухе, даже при 75 кг, легко определить с точностью до нескольких миллиграммов, т. е. до десятимиллионных. К выгодам такого приема относится не только то, что при нем легко устранить с поверхности всякие следы пузырьков воздуха, но и то, во-первых, что температуру воды, применяя надлежащие мешалки, легко регулировать до однородности вверху и внизу, чего нельзя сказать об обычном гидростатическом приеме, во-вторых, то, что главное определение можно производить в особом помещении, вовсе не имея дела с весами, и, в-третьих, то, что никаких капиллярных влияний, при гидростатическом взвешивании неизбежных, здесь вовсе не будет. Влияние перемены объема шара чрез погружение и чрез перемену атмосферного давления следует определить особыми предварительными опытами, которые здесь легко сделать, а в герметически замкнутых телах очень затруднительно. Я полагаю даже, что с телами сравнительно небольших размеров, какие употребляли, например, Жино и Ченей (в цилиндре *C*), применяя указанный способ, можно получить более совершенные данные, чем обычным гидростатическим приемом. Думаю также, что, запирая малое отверстие шара цилиндром, кончающимся проволокою малого диаметра, которую можно для регулирования веса укорачивать, т. е., имея род большого ареометра, можно достигнуть вполне надежных результатов, когда при желаемой температуре проволока будет обрезана до того, что шар начнет тонуть, так как вес отрезываемых частей проволоки легко определить, а объем (по уд. весу металла) оставшейся ее части исключить из вывода. Если же предварительным исследованием, которое хотя и затруднительно, но вполне возможно, установить коэффициент расширения оболочки, то опыт прямо можно произвести при 0° и при температуре, близкой к наибольшей плотности, которая представляет ту выгоду, что около нее плотность воды мало изменяется с температурою. Установивши же ту температуру, при которой вес (зависящий от разности между расширением воды и оболочки)

прибора будет такой же, как при 0°,[1] можно будет проверить определения расширения взятого предмета, если расширение воды в этих пределах будет точно известно.

Указанный способ, представляя некоторые выгодные особенности, все же по существу своему напоминает приемы, доныне применявшиеся, чего нельзя сказать про второй способ, далее предлагаемый. Представим большой вертикальный цилиндрический сосуд диаметром, например, в 1 м, выполненный внутри так, чтобы цилиндричность была соблюдена с возможным совершенством. Диаметр в 1 м даст возможность измерять его без отыскания подразделений целого метра, что имеет свое значение для точности результата. Высота цилиндра должна быть более метра, чтобы можно было выпустить чрез кран слой воды в метр же высотою. Весь цилиндр должно окружить ванною для получения постоянной температуры. Об высоте уровня воды в цилиндре можно судить по широкой стеклянной боковой трубке, геометрические размеры которой нет надобности определять, потому что легко определить вес воды, вмещающейся в эту трубку, и вычесть его из веса воды, выливаемой из цилиндра. Вес этот определяется по частям, и вся желаемая (до десятимиллионных долей) точность взвешивания, при надлежащих поправках, здесь легко достигнется, потому что общий вес цилиндра воды, при диаметре и высоте в 1 м, будет около 783 кг, следовательно, миллионная доля веса составит около 0.8 г. Заготовление чистой воды в таком большом количестве может быть избегнуто, если удельный вес взятой воды будет точно известен.[2] В измерении диаметров и высот, т. е. объ-

[1] Если расширение сосуда выразим чрез $V_0(1 + at + bt^2)$ и если P — вес вытесненной воды (или вес шара, ему равный) при 0°, то очевидно, что $V_0 s_0 = P$. При нагревании выше 0° сперва уд. вес воды увеличивается быстрее, чем объем шара, и шар всплывает, но при некоторой температуре t, когда уд. вес воды равен s_t, опять придет в равновесие с водою, тогда $V_0(1 + at + bt^2)\, s_t = P$, откуда $s_t(1 + at + bt^2) = s_0$. Если s_0 и s_t известны, — определяется $1 + at + bt^2$, т. е. при известном t получится проверка расширения сосуда. Для стали эта температура будет около $11\frac{1}{2}$° Ц, для бронзы — около $13\frac{1}{2}$° Ц. Если бы расширение воды было точно (в десятимиллионных долях) известно, то для определения расширения сосудов достаточно было бы сделать несколько определений с водою, но и этот предмет требует новой разработки.

[2] Удельный вес этой воды гидростатическим взвешиванием сравнительно легко определить, с точностью до десятимиллионных долей, если взять для погружения легкий (едва тонущий) стеклянный поплавок в несколько литров объемом и в одной общей ванне попеременно взвешивать его в двух сосудах: с чистой и с испытуемой водой. На стеклянном поплавке легко видеть пузырьки воздуха, если они будут, а производя попеременные взвешивания в обеих водах — устранить температурные

емов, погрешность при повторенной компарации с метром может достигать до меньших долей, чем ныне, и если дойдет до микрона, то погрешность в объеме не превзойдет 2.3 г по весу воды, т. е. составит лишь несколько миллионных долей. Вообще же, здесь трудности будут в определении объемов, а отнюдь не во взвешиваниях — как это и быть должно.[1] Кроме других особенностей этого способа, которые потребуют, однако, подробного изучения, необходимо обратить внимание на то, что здесь две поверхности воды — нижняя и верхняя — определятся тяжестью, т. е. представят геометрическое совершенство и полный параллелизм. А так как цилиндрические поверхности могут вытачиваться с большим совершенством и малейшая коничность скажется на весе

изменения. Взять же для опытов воду не вполне чистую, но легко получаемую, тем более полезно и важно, что химически чистая вода в продолжение опыта все же будет поглощать воздух, и, хотя в десятимиллионных долях, изменять свою плотность, вода же, отчасти насыщенная уже воздухом, может быть не только легко получена в желаемом количестве, но и сохранит свою плотность. О присутствии пузырьков воздуха на внутренних стенках цилиндра легко судить осмотром, облегчаемым шириною сосуда, и если пузырьки воздуха будут, их легко удалять. Я не закрываю глаза на могущие встретиться затруднения, но полагаю, что все они в описываемом способе практически могут быть устранены — тем легче, чем больше будет взят цилиндр, материалом для стенок которого я предлагаю взять пушечную сталь, пропитанную с поверхности парафином, потому что по опыту такая сталь от воды не ржавеет вовсе.

[1] Для преодоления трудностей в определении объемов желательно иметь как можно больший объем. С малым объемом, даже пользуясь современными оптическими приемами измерения линейных размеров прозрачных тел, нельзя ждать улучшений в сведениях об объемном весе воды, потому что неполная однородность прозрачных средин и температурные непостоянства понижают предел точности, едва ли превосходящий то, чего достиг г. Ченей в своих измерениях. Для больших же объемов, конечно, лучше брать неподвижные сосуды и взвешивать входящую в них воду, чем производить гидростатическое взвешивание. Мне кажется, однако, что размеры в 1 м составляют предел точности. Если бы воспользоваться сосудами, подобными целым бассейнам воды, то со стороны взвешиваний массы воды — по частям, с принятием всех предосторожностей противу испарения и с введением на него точных поправок, — не могло бы представиться серьезных трудностей; но выигрыша в точности объемов не получится. Если мы представим, например, бассейн, окруженный зеркальными стеклами, каждое в 1 кв. метр, в 10 м длины, ширины и глубины, то точность в определении линейных размеров едва ли бы можно было довести более, чем до 0.01 мм, а такая погрешность даст в объеме неточность также в несколько миллионных долей целого объема, как и при употреблении сосудов метрового размера. Высокие качества и взаимное согласие лучших определений г-на Ченея зависят, по моему мнению, именно от того, что он не только многократно измерял диаметры и высоты, но и применил в этом отношении совершеннейшие из существующих приемов.

воды, выливаемой по частям, то можно полагать, что в определении объемов при указанном способе достигнется все возможное, тем более, что мерилом прямо будет служить один и тот же метр. А так как внутренний цилиндр можно со всех сторон окружить водою (соблюдая то, чтобы давление на стенки оставалось при выливании одинаковым), то и за достижение температурного постоянства, повидимому, можно более ручаться, чем при обычных способах, тем более, что большая масса внешней и внутренней воды представит сама значительную устойчивость температуры, если она внутри сосуда будет близка к температуре пространства. А так как около температуры наибольшей плотности воды ее расширение очень слабо, то особенно желательно произвести определения прямо вблизи этой температуры. Но тогда необходимо будет изучить расширение сосуда. Для него большие размеры прибора и возможность изменять температуру воды представят, повидимому, много удобств. Дальнейших указаний должно ждать от опыта, который предполагается с течением времени произвести в Главной палате мер и весов.

Но ранее или позже, сверх новых более точных определений объемного веса воды, необходимы новые точные (до десятимиллионных долей) сведения о ее расширении. Предмет этот, равно как изменение объема воды от влияния давления, как атмосферного, так и сверху лежащих слоев самой воды, будет подробнее рассмотрен мною в особых статьях. Теперь же замечу только, что от давления в 1 атмосферу вода сжимается (между 0° и 30° Ц) примерно так, что ее уд. вес возрастает на $50 - 0.22\,t$ миллионных частей, а это показывает, что вес кубического дециметра воды изменится «в пустоте» уже в сантиграммах (от перемены давления), следовательно, при точнейших определениях необходимо принять во внимание как перемену атмосферного давления, так и высоту водяного слоя. Употребляя, как общепринято, выражение «вес в пустоте», следовало бы делать поправку на сжатие воды, производимое атмосферою, чего доныне не делается. Делая поправку этого рода, вместо выведенного среднего 999.840 г получим «в пустоте» 999.791 г.

21 апреля 1895 г. *Д. Менделеев.*

Временник Главной палаты мер и весов, ч. 2, 1895, стр. 53—55.

ТЕРМОМЕТРИЧЕСКИЕ И БАРОМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ В ГЛАВНОЙ ПАЛАТЕ МЕР И ВЕСОВ*

При открытии Главной палаты мер и весов явилась необходимость озаботиться об установлении точных способов для определения температур, не только потому, что измерения этого рода входят в область метрологии и, следовательно, составляют сами по себе предмет занятий Палаты, но и потому, что при измерениях других метрологических данных неизбежно должны производиться точные термометрические определения. Так, в определения прототипов мер длины входит указание нормальной температуры, при которой прототип представляет истинную длину, следовательно, при всяком компарировании линейных мер необходимо точное знание температуры. Производя компарацию прототипа с испытуемою мерою длины при температурах выше и ниже нормальной, можно, без знания коэффициента расширения испытуемой меры, вывести истинную ее длину при нормальной температуре, но без точного определения температур это возможно лишь в том случае, когда материал прототипа и меры одинаков, что может редко встречаться по той причине, что прототипы, ради их неизменной сохранности, производятся чаще всего из платины или ее сплава с иридием, практические же линейные меры изготовляются из других, менее ценных металлов. При сличении объемов и даже при взвешиваниях в воздухе, когда необходимо вводить поправки, зависящие от веса воздуха (т. е. когда удельные веса взвешиваемых предметов не одинаковы), также неизбежно необходимо точное знание температур и т. д.

Чтобы выполнить предстоящую задачу возможно точного измерения температур, Главной палате мер и весов пред-

* Предисловие к статье Н. Г. Егорова «Современное состояние термометрии» (Временник, ч. 2, 1895, стр. 55 и сл.). [*Прим. ред.*].

стояло установить способы как для сличения рабочих термометров с нормальными, так и для определения истинных температур, за какие, при современном состоянии знаний, можно почитать лишь те, которые получаются с помощью водородного термометра, так как их одни можно считать свободными, если не вполне, то со всею ныне возможною точностью (до тысячных долей градуса Цельзия), от влияния как качества твердых стенок термометрических сосудов, так и самой термометрической жидкости. Сложное дело точной термометрии, за множеством настоятельнейших работ, производимых в Палате при возобновлении прототипов, нельзя было поручить лицам, в ней постоянно служащим, но счастливое стечение обстоятельств позволило принять на себя эту важную отрасль метрологии профессору физики в Военно-медицинской Академии Н. Г. Егорову с его двумя помощниками, И. А. Лебедевым и Н. Н. Георгиевским. Они занялись сличениями рабочих термометров Палаты с имеющимися в ней нормами, устройством барометра и установкою водородного термометра, выписанного от известной парижской фирмы Голаца и построенного по образцу, принятому в последнее время Международным бюро мер и весов, где ныне выверяются для Палаты и новые нормальные термометры Тоннело.

Под вышеприведенным заглавием явится во «Временнике» ряд статей, касающихся как современной термометрии вообще, так и термометров и барометров, которыми снабжена Главная палата. Эти сведения совершенно необходимы для того, чтобы в наблюдаемых температурах и давлениях вводить надлежащие поправки для приведения к истинным. Здесь, однако, необходимо упомянуть о том, что принятая ныне в метрологии норма температур по водородному термометру не применялась при прежних метрологических исследованиях, когда пользовались исключительно ртутными термометрами, выверенными особым способом, а именно такими, для которых точно определялись: положение постоянных точек (0° и 100° по Ц) и калибрация пространства между ними. Так как такое определение температур не вполне освобождает их от индивидуальностей отдельных термометров (по причине изменения расстояния от 0 до 100°, влияния перемен внешнего и внутреняего давления и разностей в кажущемся расширении ртути, смотря по материалу резервуара и т. п.), то в прежних термометрических показаниях можно сомневаться в точности указаний (т. е. в согласном показании правильно установленных, но взаимно не сли-

ченных термометров) до нескольких сотых градуса,[1] а потому, когда приходится иметь дело с прежними метрологическими данными, неизбежно иметь в виду возможность сомнения в сотых градуса. При возобновлении метрических прототипов, совершенном Международною комиссиею, сомнения подобного рода, по возможности, устранены именно с помощью пользования шкалою — по водородному термометру. При предстоящем возобновлении русских прототипов предположено следовать этому примеру, т. е. устанавливать температуру с точностью, по возможности, в тысячных градуса Цельзия и считать их по водородному термометру.

В отношении к барометрическим данным надобность Главной палаты определяется преимущественно требованием точного знания давлений атмосферного воздуха для введения поправок на вес воздуха, вытесняемого гирями и другими взвешиваемыми предметами, когда они занимают неодинаковые объемы. А так как в Главной палате, при сравнении гирь в фунт и килограмм, уже достигнута в действительности несомненная точность до тысячных долей миллиграмма, гири же, особенно латунные, относительно платино-иридиевых, представляют разности объемов в несколько десятков миллилитров (кубических сантиметров), то для введения возможно точной поправки необходимо знать давления с точностью до сотых миллиметра, для чего и потребовалось озаботиться о заготовке точно изученных барометров. Такая же степень точности необходима и для газового термометра, а потому заботу об устройстве барометра принял на себя проф. Н. Г. Егоров, вместе со своими ассистентами, единовременно с задачами об установке возможно точных сведений по термометрии. Отчет о том, что сделано в этих отношениях, будет помещаться во «Временнике» под указанным общим заглавием в ряде отдельных статей.

Управляющий Палатою.

---

[1] В статье Д. Менделеева «О изменении удельного веса воды», помещаемой в этой же части «Временника», даны некоторые численные результаты сличения разных термометров с водородным для температур от 0 до 50°.*

* См.: Сочинения Д. И. Менделеева, Изд. АН СССР, т. V, 1947, стр. 251. [*Прим. ред.*].

Временник Главной палаты мер и весов, ч. 2, 1895, стр. 157—185.

ХОД РАБОТ ПО ВОЗОБНОВЛЕНИЮ ПРОТОТИПОВ, ИЛИ ОБРАЗЦОВЫХ МЕР ДЛИНЫ И ВЕСА

В 1893 г. единовременно с рассмотрением проекта учреждения Главной палаты мер и весов, его высокопревосходительство г. министр финансов С. Ю. Витте внес на благоусмотрение Государственного совета мнение Министерства финансов о своевременности возобновления основных прототипов мер длины и веса, так как ныне существующие прототипы, устроенные, сообразно именному указу от 14 октября 1835 г., около 60 лет тому назад, не могут по своему качеству отвечать современным требованиям, не представляют полных гарантий неизменности и не имеют узаконенных, отдельно хранимых, основных копий, что достигнуто во всех иных странах при возобновлении прототипов, совершенном повсюду в последние десятилетия. Такое мнение г-на министра финансов, одобренное Государственным советом, удостоилось утверждения его императорским величеством 8 июня 1893 г. вместе с Положением о Главной палате.

Таким образом, первое и во всех отношениях основное дело нового учреждения должно было состоять в осуществлении указанного возобновления прототипов. Предположено устроить четыре образца мер длины, назначая основною единицею аршин, и четыре образца мер веса (массы), считая за единицу фунт, а когда они будут готовы и взаимно сличены со всею возможною точностью, предположено избрать по одному из них в качестве главных прототипов, по одному образцу хранить в особо безопасном помещении, подобно тому как в Англии основные копии (ярда и фунта) хранятся замурованными в здании парламента, или как во Франции самые прототипы (метр и килограмм) хранятся в государственном архиве; по два же остальных образца назначаются для основных работ Главной палаты как учреждения, долженствующего сохранять в государстве «единообразие, верность и взаимное соответствие» мер и весов.

Прежде чем излагать то, что сделано Палатою до сих пор для достижения указанной цели, считаю необходимым обратить внимание на некоторые соображения и обстоятельства, которые должно принять во внимание.

При возобновлениях прототипов, совершавшихся ранее в России и других странах, основную задачу составляет воспроизведение в новых, возможно более совершенных, чем прежде бывшие, образцах прежних прототипов, чтобы чрез возобновление не нарушились основы принятой системы. Так, в 1835 г. новый прототип фунта устроен по равенству с фунтом 1747 г. (см. стр. 105, выноску 2), а прототип длины устроен, как указано еще императором Петром Великим, согласно с тем, чтобы сажень равнялась «7 настоящим английским футам, с разделением на 3 аршина», как сказано в именном указе 1835 г. октября 11. Поэтому при предстоящем возобновлении следовало новый прототип фунта исполнить так, чтобы он представлял равенство с ныне хранимым прототипом фунта (см.: Первый перечень, Временник, ч. 1, стр. 89), тем более, что прежнего прототипа, т. е. золоченого фунта Монетного двора 1747 г., налицо не оказалось, а те золоченые (из медного сплава) копии его, которые акад. Купфер несомненно сличал с прежним (1747 г.) прототипом, хотя отысканы в имуществе, полученном Главною палатою, но оказались отчасти изменившими свой вес, как можно было ожидать по их внешнему виду (см.: Второй перечень, Временник, ч. 2, стр. 149 и 150). Что же касается до основного прототипа русского фунта, то он, по качеству своего материала (платина), по своей укупорке в плотный латунный футляр, выложенный внутри плюшем, и по тому тщанию, с которым сохранялся, представляет много гарантий своей полной неизменности; тем более, что он вовсе не употреблялся для сличений. Это последнее видно из того, что акад. Купфер, изготовляя основные копии фунтов, разосланные в различные учреждения империи, пользовался вспомогательными золочеными фунтами, как видно в сочинении «Travaux de la Commission pour fixer les mesures et les poids de l'Empire de Russie. Rédigé p. A. T. Kupffer» (стр. 399); бывший же после акад. Купфера хранителем мер и весов генерал В. С. Глухов, на основании соображений, развитых им в печатном его сочинении под заглавием: «Доклад высочайше утвержденной Комиссии для преобразования Депо образцовых мер и весов» (1 октября 1875 г.) (стр. 2—4), пользовался для выверки русских фунтов образцовым английским фунтом (Временник, ч. 1, стр. 90,

n° 2), для которого Купфер установил соотношение к русскому фунту. Кроме того, когда я принимал образцы мер и весов от генерала Глухова, он передал мне, что только однажды в 1875 г., вместе с В. И. Тимирязевым и Ф. П. Завадским, он применил платиновый прототип русского фунта — именно для определения его удельного веса (Временник, ч. 1, стр. 90), а затем, высушив оный под колоколом воздушного насоса до постоянного веса, не применял этот прототип, храня его вместе с другими образцами в несгораемой кладовой здания Главной палаты (и бывшего Депо образцовых мер и весов). Эти обстоятельства дают право полагать, что имеющийся платиновый прототип русского фунта не имел возможности изменить свой вес со времени его устройства, и заставляют при возобновлении прототипа фунта держаться исключительно того веса, который имеется в существующем прототипе фунта, тем более, что никакой узаконенной копии этого фунта не имеется. По отношению же к возобновлению прототипа линейных мер не подлежало сомнению, что возобновление прототипа должно было основать на истинной длине английского фута, а не на чем-либо ином, тем более, что имеющийся прототип длины (Временник, ч. 1, стр. 95, Перечень, n° 6) в виде шести платиновых полос, расположенных на поверхности медного цилиндра, не имеет делений на аршины и не представляет достаточных гарантий относительно своей неизменности, так как нет убеждения в том, что платиновые полосы свободно могут двигаться (при температурных же переменах это движение неизбежно) в своих латунно-медных пазах. Поэтому при возобновлении прототипа длины следовало прямо исходить из английских мер, основанием для которых служит, как известно, ярд, равный 3 футам, или 36 дюймам, тогда как аршин равен 28 дюймам.

Два вышеизложенные соображения определяют тот образ действий, который следовало совершить при возобновлении прототипов. Прототип фунта следовало производить на основании современного прототипа, имеющегося в Главной палате, для прототипа же длины следовало, во-первых, получить возможно точно сличенную копию ярда, какой в Палате не имеется, а во-вторых, найти истинную длину аршина, исходя из ярда.

Другой ряд соображений, касающихся до возобновления, относится к материалу и форме прототипов. При каждом возобновлении естественно было и всегда стремились изменчивые материалы заменять менее способными ко всякого

рода переменам, а потому медь и железо первых прототипов заменялись под конец платиною, а в последнее время, по предложению, сделанному Генр. С.-К. Девиллем в начале 70-х годов, при обсуждении материала для возобновлявшихся метра и килограмма, стали применять сплавленную иридистую платину, содержащую 90% платины и 10% иридия, потому что этот сплав не только химически чрезвычайно неизменчив (даже более, чем платина, потому что на нее царская водка действует легче, чем на ее сплавы с иридием), но и в механическом смысле пригоднее платины для прототипов, так как тугоплавче, тверже и упружее самой платины, а потому предметы из этого сплава лучше сохраняются в неизменном виде. Но применение иридистой платины определенного состава представляет существенное неудобство в том отношении, что однородный сплав этот, будучи новым и дорогим (по высокой цене чистой платины и по редкости чистого иридия) веществом, находящим мало других практических применений, производится исключительно одною лондонскою фирмою Johnson — Matthey, а при требовании того количества (около 12 кг), которое нужно для возобновляемых русских прототипов, могли встретиться препятствия и замедления, определяемые тем, что партия заготовки не так велика, чтобы при ее получении можно было окупить все необходимые расходы, сопряженные с тщательною заготовкою составных частей (чистой платины и чистого иридия), и в то же время не столь мала, чтобы можно было воспользоваться случайными запасами необходимых металлов, имеющимися у производителей. По этой причине, при первоначальном проектировании заготовки прототипов предложено было сделать их или из чистой сплавленной платины,[1] или из ее вышеупомянутого сплава

[1] Существующие русские прототипы сажени и фунта, как первоначальные метр и килограмм, сделаны из платины не сплавленной (потому что прежде не могли плавить платину в больших количествах — способы для этого были найдены лишь в средине сего столетия Г. С.-К. Девиллем), а только сжатой сдавливанием и кованием. Такая платина не может быть механически вполне однородною, а потому изделия из нее обыкновенно имели внешние, хотя и малые, но несомненные пороки (ноздреватость, неравномерность плотности и т. п.). Ныне, когда платина плавится в любых количествах, можно требовать от ее изделий такой же однородности, как от сплава ее с иридием или как от золота и т. п. Поэтому ныне из сплавленной платины можно ждать изготовления очень однородных предметов, и в этом отношении чистая платина представляет некоторые преимущества перед иридистым сплавом: легкость получения, химическую однородность, низшую температуру плавления и меньшую ценность.

с иридием, если можно будет отыскать его в достаточном количестве и в надлежащей степени чистоты и однородности за цену не чересчур высокую. При этом предположено было, ради желаемого совершенства возобновляемых прототипов и других очевидных удобств, взять только в таком случае иридистую платину, когда она будет представлять полное сходство по составу и свойствам с тем сплавом, который применен для производства международных килограммов и метров, по одному образцу которых имеется и в Главной палате (Временник, ч. 1, Перечень, п° 5, стр. 94, и п° 11, стр. 99), брать же сплав другого случайного состава не предполагалось, потому что тогда исчезла бы главная выгода, состоящая в однообразии материалов наших и метрических прототипов, и в этом случае предположено предпочесть чистую платину. В случае ее применения расчет показывал, что для прототипа аршина, придав ему сечение такого же размера, как у метров, получилась бы почти такая же малая степень гибкости (жесткость), какая свойственна метрам из иридистой платины, а в отношении к прототипам фунта из чистой платины нельзя было иметь особых опасений относительно большей мягкости такого металла, сравнительно с иридистою платиною, по той причине, что от применения для обычных взвешиваний (когда гирю берут соответственными щипцами и ставят прямо на чашку весов) немного уменьшается вес всякой гири (от стирания), хотя бы и из иридистой платины,[1] что и обязывает, во-первых, к тому, чтобы взвешивания производить, ставя гири на особые подставки из стекла или горного хрусталя (это избавляет от трений, неизбежных при перенесении или перекладке гирь с одной чашки на другую), и, во-вторых, как можно реже пользоваться самими прототипами, а применять изученные копии, причем твердость материала самой гири получает лишь второстепенное значение. Таким образом, окончательный выбор материала для прототипов — между иридистою и чистою платиною — при проектировании возобновления не был окончательно решен, и предстояло первоначально собрать надлежащие сведения о том, с какими трудностями по времени, месту и ценности сопря-

[1] Как в том убеждают не только прямые данные, полученные в Главной палате для гирь иридистой платины, означенных в Перечне под п° 4 (Временник, ч. 1, стр. 92), но и убыль веса в копии прототипа английского торгового фунта, применявшегося для взвешиваний, как указано в Предисловии к 1-й части «Временника» (стр. IV, выноска 3).*

* См. стр. 53, выноска 2. [*Прим. ред.*].

жено будет применение того или другого из названных материалов. Здесь же уместно упомянуть о том, что для прототипов гирь весьма полезно воспользоваться золотым монетным сплавом, имея в виду не только то, что этот сплав, вероятно, столь же мало изменчив, в химическом смысле, как и платина или ее сплавы, но и то, что гири из золотого монетного сплава,[1] легко получаясь, представляют немаловажное удобство при взвешивании золотых монет, так как при равенстве плотностей не требуется вводить поправок на вес вытесненного воздуха, а взвешивание золотых монет при их приемке и производстве составляет один из тех случаев, при которых требуется в практике, особенно при приемке сразу больших масс, наивысшая возможная точность. Но вводить монетный золотой сплав для всех прототипов представлялось рискованным по новости приема, а потому, в виде опыта, предположено было вместе с основными платиновыми прототипами заготовить лишь один фунт (и его подразделения) из монетного золотого сплава.

В отношении к форме прототипа и основных копий фунта предположено держаться формы, близкой к той, которую имеет современный прототип фунта, т. е. сделать цилиндр, диаметр которого почти равен высоте, а острые края немного округлены. Для подразделений же фунта, равно как и для подразделений килограмма (необходимых спутников прототипов) предположена, однако, новая форма, а именно, цилиндров или проволок разной, но ограниченной длины, что представляет следующие важные удобства: 1) при выделке из одного цилиндра или из одной проволоки нескольких гирь можно предполагать во всех них почти одинаковую плотность, чего не может быть и не бывает в действительности тогда, когда каждая гиря выделывается отдельно, а однообразная плотность гирь гарантирует удобство и верность введения поправок по взвешиванию в воздухе, так как они определяются в зависимости от удельного веса материала гирь. 2) Гири разного (кратного) веса при одном диаметре весьма ясно отличаются между собою по своей длине, а потому не требуют соответственных надписей, которые не только легко дают повод к ошибкам при записи, но и представляют важный недостаток гравированных на

[1] А это ведет к тому, что ценность гирь из монетного сплава может быть невелика. В прежнее время платина стоила гораздо дешевле золота, ныне же цена платины, как известно, поднялась, и материальная стоимость лигатурного золота не выше, чем чистой сплавленной платины в деле.

поверхности углублений, где задерживается пыль, изменяющая вес и требующая очищения промывкою, что сопряжено с неудобством, риском и напрасною тратою времени. 3) Расположение гирь в соответственных ящиках для хранения, перенесение их и положение на чашках весов, если те и другие снабжены надлежащими приспособлениями (так, чтобы цилиндры лежали горизонтально, опираясь на две точки, отстоящие от концов примерно на $^1/_4$ длины), весьма сильно облегчается. 4) Не маловажно при многократных точных взвешиваниях и то, что внешняя поверхность каждой лежащей цилиндрической гири остается все время видимою, тогда как при обычной форме гирь (когда они в ящике и на чашках весов стоят на своей нижней плоскости) на нижней их поверхности могут оставаться приставшие частицы не замеченными. В таком виде и выполнены вновь заготовленные подразделения фунта и килограмма, как видно из перечня, помещенного в этой части «Временника» (стр. 152, п°п° 31 и 32). Для подразделений избрано две системы: фунтовая и десятичная. Первая основана на подразделении, по возможности, в 2 раза, например золотники: 48, 24, 12, 6, 3, 2 и 1 золотник, то же и для долей. Сумма гирь золотников при этом равна фунту, без необходимости добавки суммы долей, и сумма долей равна 1 золотнику. А так как ни одна гиря здесь не повторяется, то избегаются одноименные гири, которые встречаются столь часто в обычных подразделениях гирь,[1] затрудняя запись и часто служа поводом к ошибкам. Для удовлетворения тем же требованиям, а именно, чтобы не было одноименных гирь и чтобы сумма гирь данного порядка равнялась (могла быть сравниваема на весах) единице высшего порядка, при десятичном счете весов (например для подразделений «долей» фунта или для подразделений килограммового веса) избрана система, состоящая из гирь: 4, 3, 2 и 1, потому что при этом нет повторения (а следовательно, и поводов к смешению) одноименных гирь и сумма $4+3+2+1=10$,[2] а это облегчает выверку системы гирь, что составляет важную, слож-

---

[1] Например, 50, 20, 10^1 и 10^2 или 50, 20^1, 20^2 и 10 г, как встречается у разных мастеров, заготовляющих разновес.

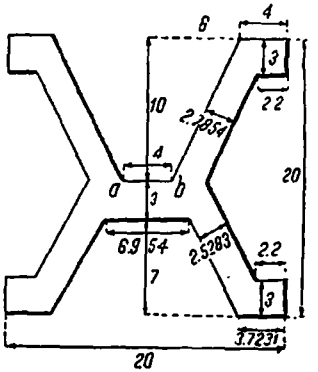
[2] Например, вместо подразделений, в предшествующей выноске приведенных: 40, 30, 20 и 10 г, число гирь то же, но при сравнении со 100 г к системе 50, 20, 10 и 10 г пришлось бы добавить все граммовые гири, а при системе, избранной нами, этого не придется делать. Сверх того, легко показать, что при взвешиваниях грузов разного веса число применяемых здесь гирь будет меньше, чем в обычных системах.

ную и долговременную операцию, которую в учреждениях, подобных Главной палате, приходится производить часто и с большим тщанием, причем всякий вид облегчения имеет свою ценность.

В отношении к прототипам длины предположено все меры сделать нарезные (à traits), так как они представляют более, чем концевые меры (à bouts), гарантий сохранности в неизменном виде (ибо при пользовании концевыми мерами концы их могут стираться) и так как современные прототипы метра, ярда и сажени также относятся к числу нарезных. Из четырех образцов, три предположено сделать длиною в 1 аршин между чертами с добавкою по концам 5 мм, т. е. всего около $72^1/_2$ см каждая. На четвертой же образцовой мере, назначаемой для предстоящих Главной палате компараций и нахождения отношения русских мер с английскими и французскими, предположено нанести полсажени, аршин, его подразделения, ярд и метр, также с подразделениями, чтобы можно было меру эту компарировать не только с тремя остальными, но и с метром и ярдом, что необходимо для самых важных работ, представляющихся при возобновлении, как о том упоминается далее. Поэтому эта четвертая мера длины должна иметь между концами около 108 см. В отношении к сечению названных образцовых мер предположено вполне следовать предложению, сделанному в 1872 г. Треска и примененному для нарезных международных метров, т. е. придать мерам сечение в виде X с выступами и с открытою нейтральною[1] плоскостью (*ab*), назначаемою для нанесения делений, при таком размере всего разреза, что он вписывается в квадрат, стороны которого равны 2 см, как изображено (при увеличении почти в $2^1/_2$ раза) на прилагаемом рисунке разреза. Такая форма разреза представляет ту особую выгоду, что при малой площади сечения (а именно около 1.5 см^2), а следовательно, и при малом весе, мера этой формы представляет большую жесткость во всех направлениях, что гарантирует, при всяком положении меры, столь ничтожный изгиб ее, что величина оного от собственного веса меры, даже при подпоре лишь с концов, производит укорачивание расстояний метри-

[1] Нейтральною плоскостью балки или бруса, как известно, называется в механическом учении о сопротивлении материалов такая продольная плоскость, которая, находясь в среднем слое, при сгибании бруса или балки не удлиняется и не сжимается, что происходит с поверхностными слоями бруса. Нейтральная плоскость проходит чрез центр тяжести поперечного сечения балки или бруса.

ческих делений лишь на такие малые доли микрона ($\mu = 0.001$ мм $= 0.000001$ м), которые не могут быть определены при современных способах компарирования. Поэтому вопрос о способах поддержки (на плоскости — или в двух, или многих точках — на катках) мер при компарировании — сам собою отпадает, почти в такой же мере, как в прототипах ярда, имеющих форму бронзового бруса с квадратным сечением в 1 дюйм или 2.5 см высотою и шириною, с колодцами до нейтрального слоя. Преимущество новой формы сечения прототипов определяется тем, что собственный вес меры, при большой ее жесткости, мал, несмотря на большой удельный вес материала. Десять сантиметров длины весят для меры, сделанной из бронзы удельного веса около 8.5, при сечении 2.5×2.5 см около 531 г, а десять сантиметров меры с сечением X, какое изображено выше, при удельном весе иридистой платины около 21.2, весят около 320 г, потому что вышеприведенные размеры дают плоскость сечения около 1.509 см^2.[1] Жесткость (при одинаковом коэффициенте упругости материала) или частное из площади сечения на момент инерции (для ярда он $J = 32\,550$, если для сечения X Треска $= 5213$) для ярдового сечения в $1^1/_2$ раза более, чем для сечения, предложенного Треска,[2] а вес — при том же материале — в четыре раза менее. Сверх того, сечение, изображенное выше, представляет ту выгоду, что все части меры имеют почти равномерную и малую толщину, около 3 мм, что обеспечивает быстрое



Поперечное сечение образцовых платино-иридиевых нарезных мер длины. Размеры даны в миллиметрах, площадь сечения $= 109$ мм^2. Деления наносят на нейтральной плоскости *ab*.

[1] В действительности, как показал Бенуа (Travaux et Mémoires, t. VII, стр. 24, выноска), международные метры имеют сечение около 1.55 см^2.

[2] Коэффициент упругости E для первого образца метра в форме X определен был Треска в 1873 г. и оказался равным 21.38×10^6 г на квадратный миллиметр (вероятно, для не отожженной меры). Брох, а затем Бенуа позднее определили ту же величину. Бенуа делал определения или 1) измеряя стрелку прогиба f мм, при нагрузке (по средине) P кг, при расстоянии опор l мм, при моменте инерции J (для сечения X, изображенного на рисунке, по отношению к горизонтальной оси *ab* $J = 5213$) и нашел из многих определений $E = \frac{l^3 P}{48 f J} = 19\,700$ кг на квадратный мил-

принятие всеми частями меры температуры окружающей среды. Заметим, что в сечении отсутствуют острые углы и что нанесение делений на довольно глубоко лежащую открытую нейтральную плоскость *ab* (от верхнего края меры до *ab* около 10 мм), ширина которой около 4 мм, не только обеспечивает сохранность нанесенных линий от случайной порчи, но и ведет к столь малому изменению расстояния между конечными точками — при изгибе от собственного веса, что эта перемена почти неизмерима при современных средствах компарирования, тогда как при нанесении делений на верхний край меры — при изгибе от собственного веса — расстояние крайних точек заметно (на 40 μ при расстоянии [между] опор[ами] 1 м) сокращается, как показывает теория упругости,[1] с чем согласуются и прямые измерения, произведенные Бенуа над метрическим платино-иридистым стержнем[2] изображенного сечения.

лиметр, или 2) измеряя компаратором сокращение расстояния крайних (на расстоянии 1 м) линий, нанесенных на верхнем крае меры, подпертой по концам, причем Бенуа получил $E = 19\,450$, что близко к предыдущему числу, несомненно более точному. Если же для иридистой платины $E = 19\,700$ кг/мм², то это значит, что при грузе в 19 700 кг длина проволоки в 1 мм² сечения удвоилась бы, или при грузе в 19.7 кг такая проволока упругим образом удлинилась бы на $^1/_{1000}$ долю начальной длины. Известно, что железо и сталь имеют близкий к этому коэффициент упругости, медь, латунь и цинк — в два раза меньший, свинец же, олово и дерево в 5 до 16 раз меньший. Отсюда видно, что избранный для прототипов сплав платины с иридием представляет прекрасные механические качества в отношении упругости.

[1] Теория упругости показывает, что величина изгиба f (стрелка прогиба) для горизонтально положенной меры от собственного ее веса P всегда пропорциональна величине $f = k\frac{PL^4}{EJ}$, где L есть длина меры, а коэффициент k изменяется при перемене точек опоры, сокращение же расстояния конечных точек, нанесенных на нейтральной поверхности, $\Delta L = k_1 \left(\frac{P}{EJ}\right)^2 L^7$. Здесь значение коэффициента k_1 изменяется с положением (расстоянием) двух опор, на которых лежит мера, и достигает до наибольшей величины (0.054), при опоре с двух крайних концов, а наименьшей (k_1 около 0.0005) величины, когда расстояние между опорами, как показал Бессель, составляет 0.559 L, и опоры расположены симметрично. Подставляя соответственные величины, Бенуа и Брох (Travaux et Mémoires, t. VII, B. 70 и 28) разочли для метрической меры указанного сечения в первом случае (опоры по концам) сокращение длины метра (погруженного в воду), нанесенного на нейтральной плоскости = 0.14 μ, во втором (опоры на расстоянии 559 мм) 0.0002 μ (см. ibid., B. 70). Следовательно, если две опоры удалены от концов на некоторое расстояние (около $^1/_5$ всей длины), то сокращение неизмеримо мало, так как даже сотые доли микрона компаратором не измеряются.

[2] Бенуа нашел (Travaux et Mémoires, t. VII, стр. 31 и 32) прямым опытом, с одним из метров (в воде), что изменяя места опор, 1) для

Сверх всего этого нельзя не обратить внимания на то, что тщательнейшие определения расширения для каждого из 37 метров, исследованных и заготовленных Международным бюро, показали, что иридистая платина с 10% иридия представляет в этом отношении величайшее однообразие, так что можно принимать изменение длины в одном метре (при 0°) для температуры T, измеренной по водородному термометру, равным:

$$8.65\,T + 0.001\,T^2\,\mu.$$

или

$$L_t = L_0(1 + 0.00000865\,T + 0.000000001\,T^2).$$

Для $T = 20°$ длина $= 1$ м $+ 173.4\,\mu$, а по опыту наибольшая и наименьшая величины были $+ 174.3\,\mu$ и $+ 172.9\,\mu$. Это показывает, что в большинстве случаев, когда не требуется чрезвычайно большой точности (для метра — до десятых микрона), применяя сплав Девилля, можно пользоваться при обыкновенной температуре вышеуказанным средним коэффициентом расширения, что очень важно для упрощения множества исследований.

Принятие для мер длины сечения Треска и сплава Девилля, примененных для международных метров, обеспечивает кроме того все удобства для возможно точного сличения наших или английских мер с метрическими, особенно по той причине, что на четвертой мере предположено нанесение всех этих мер сразу. При всяком же возобновлении мер, например в России Комиссиею 1835 г. и особенно трудами акад. Купфера, становится естественным и необходимым сличение мер данного ряда с остальными, наиболее важными, представленными в подлинных образцах или копиях, точно сличенных с прототипами. Сравнение русских линейных мер с иностранными много выигрывает от того, что наши меры по закону непосредственно связаны с английскими, которые не только ранее всех иных твердо установлены, но и сличены с большинством всяких иных мер разных стран. Купфер, в цитированном выше своем капитальном сочинении, то же сделал по отношению к русским мерам. Но, если сличение русских мер с английскими представляет неизбежную необходимость по причине равенства 1 сажени, или 3 аршин, с 7 английскими футами, или с $2^1/_3$ ярдами, то сличение с метрическими мерами не менее настоятельно необ-

---

линий, нанесенных на верхнем крае, замечаются сокращения длины, достигающие до 40 μ на 1 м, 2) для линий, нанесенных на нейтральной плоскости *ab*, замечаются лишь такие малые сокращения (до 0.5 μ), которые впадают в погрешности компарирований.

ходимо по причине широкого распространения и удобств десятичных метрических способов измерения, а затем потому, что Россия с самого открытия в 1870 г. парижского Международного комитета приняла деятельное в нем участие, а потому необходимо иметь в виду, что метрические меры могут быть со временем дозволены к факультативному применению их по закону, а потом, быть может, и приняты в нашей стране, подобно тому как приняты они, например, Германиею. Притом метрические прототипы в подлинных образцах международных килограмма и метра имеются в Главной палате, и при изготовлении этих образцов применены наиболее совершенные из ныне известных способов копирования и выверки. А между тем ни купферовские сравнения русского фунта с килограммом, ни метра с саженью, ни английские сравнения (см.: Временник, ч. 1, Предисловие, стр. IV, выноска 1) метра с ярдом не могут быть считаемы, при настоящем состоянии метрологических сведений, за окончательно установленные, особенно потому:

1) что Купфер производил свое сличение фунта с килограммом чрез посредство побочной копии фунта, а не при помощи современного его прототипа, и пользовался копиями килограмма, выверенными не с большою точностью;[1]

2) что для перехода от метра к сажени он принял вывод Кетера (1 м = 39.37079 дюйм.), который при последующих сличениях не подтвердился, так что ныне, на основании совокупности имеющихся данных, вероятнее принять, что 1 м = 39.3700 дюйм.;[2]

3) что платино-иридовый прототип метра имеет свою нормальную длину при 0°, а бронзовые прототипы ярдов — при $16^2/_3$° Ц, или 62° Ф, а потому прямые сличения (доныне лучшие сличения делались при помощи копий метра и ярда, а не прямо с прототипами хотя бы одной из мер, только в нынешнем году ведутся прямые сличения) возможны только при знании коэффициентов расширения с большою точностью и лишь чрез расчеты, в которых участвуют температурные показания, а в них, как известно (см.: Времен-

[1] Он и получил два вывода, между собою близкие, но далеко не одинаковые. В т. I, стр. 331, Купфер дает, что 1 кг = 2 фунтам 42 золотником 40.4 доли, или 22504.54 доли, а в т. II, стр. 414 дает, что 1 кг = = 22504.859 доли; разность = 14.17 мг.

[2] Ныне, как мне известно, и о чем я, с своей стороны, много говорил в бытность мою за границею, в Международном бюро ведутся новые сличения ярда с метром, и, быть может, на предстоящей метрической конференции 1895 г. вопрос об отношении ярда к метру, наконец, выяснится.

ник,* ч. 2, стр. 53), только за последнее время исчезает сбивчивость, доходящая до десятых долей градуса Цельзия, так что и самое понятие о нормальной температуре 62° Ф не представляет полной определенности и требует специальной выработки или соглашения.

Так как четвертая из предположенных мер будет иметь деления как для метра, так и для ярда, то при ее помощи, сличив оную как с метром, так и с ярдом, можно будет установить искомое отношение ярда к метру точнее, чем иными более обходными путями, как это делалось доныне. Для этого следовало иметь в Главной палате подлинную, хорошо сличенную с основным английским прототипом копию ярда, так как международный прототип метра уже имеется в Палате. А чрез такое сличение отношение русских мер к метрическим должно установиться с полною уверенностью, какой доныне не существует.[1]

К выполнению вышеизложенной программы возобновления русских прототипов было приступлено тотчас (1893) после открытия Главной палаты мер и весов, по той причине, что все обычные задачи нового учреждения находятся в непосредственной связи с возобновлением прототипов, а оно сопряжено с необходимостью доведения всех приемов метрологических исследований до всей возможной степени точности, что неизбежно и должно занять все первое время небольшого персонала Палаты. Приступая к возобновлению русских прототипов, мне было известно, что при всем богатстве технических средств и всей подготовке лиц, занимавшихся возобновлением ярда и фунта в Англии, оно длилось там, после пожара Парламента, бывшего в 1834 г., до 1858 г., когда новые Imperial Standards** были узаконены;[2] возобнов-

[1] Так как мои заявления и действия клонились с начала 1894 г. к достижению точного сличения ярда с метром, то я очень рад тому, что ныне это сличение ведется в Международном бюро помимо нас, но все же мы его определим еще раз в Главной палате, когда будем иметь не только метр (он уже имеется), но и ярд, и полусаженную меру, на которой нанесены ярд и метр единовременно.

[2] Пятый и последний отчет о возобновлении (под названием «Fifth report of the Commissioners etc.», 1871) явился лишь в 1871 г.; первый же рапорт, под заглавием «Report of the Commissioners appointed to consider the steps to be taken for Restoration of the Standards of Weight and Measure; presented to both of Parlament of Her Majesty» явился в 1841 г. Замуравлены копии Imperial Standards в Парламенте ранее издания закона 1872 г., по которому в 1892 г. они в первый раз вынимались для сличений.

* См. стр. 172. [*Прим. ред.*].

** Перевод: имперские эталоны. [*Прим. ред.*].

ление Международным бюро килограммов и метров, несмотря на содействие ученых сил и денежных средств всех наций, длилось с 1872 по 1889 г., когда прототипы распределялись между участвующими странами. Поэтому я не мог надеяться на очень быстрый ход всех действий, необходимых при возобновлении прототипов, но тем не менее считал возможным, руководясь предшествующими опытами России и других стран, на столько ускорить наше возобновление, на сколько позволяла ограниченность числа лиц, служащих в Палате.

В составе лиц Главной палаты с февраля 1894 г. (см.: Временник,* ч. 1, Предисловие, стр. V) произошли изменения, определившиеся утратою старейшего из инспекторов, высокоуважаемого Антона Ивановича Скиндера, который вместе с Ф. П. Завадским и В. Д. Сапожниковым уже начал работы с приведением в должный порядок и полную известность как весов, так и всяких гирь, имеющихся в Палате. Тяжкая болезнь, постигшая А. И. Скиндера, и быстрая смерть лишили нас сотрудничества этого прекрасного деятеля, настойчивого труженика, многосведущего ученого и доброго друга.

Инспектор Палаты С. И. Ламанский принял на себя, вместе с г.г. лаборантами — В. В. Чепинским, кончившим в С.-Петербургском университете, и Н. И. Адамовичем, кончившим в Юрьевском университете и занимавшимся в Технологическом институте, — изучение имеющихся у нас мер длины. Из работ этого рода одна, касающаяся подразделений ярда на дюймы, является в этой части «Временника» (стр. 118). Ими же ведутся и другие текущие и основные работы на компараторах. Основную задачу предварительных работ этого рода составляют: 1) получение истинной длины дюйма по длине ярда, что необходимо для получения истинной длины аршина, и 2) получение истинных подразделений метра, необходимых для всяких измерений Палаты, в работах которой уже приняты в основу метрические измерения. И без того трудные и сложные исследования этого рода замедляются тем, что лицам, занятым оными, приходится приобрести полный навык в точнейших измерениях, так и тем, что имеющиеся в Палате компараторы, старого устройства, представляют мало удобств для того рода работ, которые необходимо здесь выполнить. Но благодаря предпринятым усилиям и многократным проверкам, мы надеемся не только своевременно (ко времени прибытия в Палату новых русских

* См. стр. 51. [*Прим. ред.*].

прототипов) произвести все необходимые предварительные работы, но и достигнуть в ней всей возможной ныне степени точности, требуемой важным значением на все последующее время предпринятых исследований, ибо без них не может быть должной уверенности в ходе всех измерений длины, множество которых предстоит Главной палате мер и весов.

Исправляющим должность второго инспектора палаты, после смерти А. И. Скиндера, сделался Ф. П. Завадский, с 1875 г. состоявший помощником хранителя мер и весов, а при учреждении Палаты бывший поверителем. Он и В. Д. Сапожников всецело посвятились весам, взвешиваниям, сравнению гирь, установке новых весов, о которых далее будет сказано, и вместе с мастером г-ном Мельзасом занялись очень деликатным делом отделки и пригонки полученных новых гирь к истинному весу. Эта сторона дела, касающаяся возобновления, подвинулась в настоящее время, как изложено далее, более остальных частей, не только потому, что в ней приняли участие все опытные лица с великим интересом к делу, но еще и потому, что Палата имеет уже прекрасные весы, допускающие отчетливейшие взвешивания.

Третье место инспектора палаты осталось вакантным, потому что не нашлось еще лица, которое, приняв это место, могло бы вести не менее других сложное дело определения точных температур и давлений, сведение о которых столь необходимо для точных метрологических работ и представляет такую сложность, что в Международном бюро мер и весов дело это заняло и занимает время большого числа лиц этого учреждения. При возобновлении русских прототипов принято было за основание устанавливать температуры по водородному термометру, так как показания только его одного ныне должно считать свободными от качеств как самой термометрической жидкости, так и стекла, тогда как в показаниях всяких иных термометров существуют индивидуальные уклонения. Поэтому при самом начале дела о возобновлении мною заказан был у известного парижского механика Голаца полный водородный термометр, по образцу того, который построен этим же механиком для Международного бюро. Сверх того, для той же цели — точной установки температур — приобретены были мною нормальные термометры Тоннело, ныне изучаемые в Международном бюро, и 12 точных рабочих термометров Бодена. Но предстоявшую при этом массу труда для установки и предварительного изучения водородного термометра, для

сравнения имеющихся в Палате рабочих термометров и для изготовления и выверки барометра, нельзя было поручить ни одному из лиц, служащих в Палате, потому что все они ныне вполне заняты другими настоятельными работами. Поэтому я был очень счастлив, что проф. Н. Г. Егоров, с своими помощниками, И. А. Лебедевым и Н. Н. Георгиевским, взял на себя эту важную отрасль предстоящих работ, как можно видеть уже по статьям 7, 8 и 9, помещенным в этой части «Временника». Таким образом, вместо одного сотрудника дело возобновления получило трех.

Бывший механик, ныне поверитель Главной палаты Ф. И. Блумбах с декабря 1893 г. командирован за границу, где находится и по сие время, для того, чтобы, во-первых, следить за всеми заказами, касающимися возобновления прототипов, особенно же за чрезвычайно деликатным делом самого их приготовления, а во-вторых, чтоб в английском Standards Department производить все исследования (определения удельного веса изделий из иридистой платины, выверку заказанного для Палаты ярда, сличение гирь, сличение заготовляемых мер и т. п.). О некоторых из этих работ Ф. И. Блумбаха будет упомянуто далее, а о многих других появится в свое время более подробный отчет. С своей стороны я убежден, что если дело нашего возобновления идет сравнительно скоро и уже значительно подвинулось вперед, то лишь благодаря тому, что Ф. И. Блумбах прилагает к этому делу не только много хлопот и трудов, но и много таланта и такта, необходимых в том положении, какое он занимает в деле возобновления. Но здесь же я должен, прежде чем говорить о других сторонах предмета, выразить величайшую признательность управляющему Board of Trade сэру Courtenay Boyle и директору Standards Department, моему ученому собрату по Королевскому обществу, г-ну Ченею (Chaney) за ту любезнейшую внимательность, которую они оказывают в разнородных точных работах, которые мне и Ф. И. Блумбаху приходится производить в центральном лондонском учреждении (The Standards Office, Old Palace Yard, Westminster) для хранения и проверки мер и весов.

Из предыдущего видно, что весь личный состав[1] Палаты посвящен делам, касающимся возобновления. Но при этом

[1] Исключение составляют два лица: лаборант А. Н. Доброхотов, продолжающий, после перехода бывшего лаборанта Палаты Ф. Ф. Селиванова на профессуру в Одесский университет, исследование хлебной пурки (см.: Временник, ч. 1, стр. 124) и делопроизводитель Палаты А. И. Кузнецов,

не должно быть упущено из виду[1] то обстоятельство, что в столь новом специальном учреждении, какова Главная палата мер и весов, и без возобновления были бы необходимы все те работы, которые ныне в ней совершаются для цели возобновления, так как по самой сущности дальнейших дел, предстоящих Главной палате, все части метрологических исследований должны быть приведены в ней к состоянию, вполне отвечающему современным требованиям, а где возможно, то и к их усовершенствованию. Таким образом, занятия, относящиеся к возобновлению прототипов, содействуют тому, чтобы наше учреждение заняло надлежащее место в среде других метрологических учреждений; это тем необходимее, что из всех систем мер и веса только три: английская, французская (метрическая) и русская отличаются полною разработкою и выдерживают научную критику. В отношении к русской системе мер и весов это достигнуто преимущественно благодаря трудам моего бывшего профессора, акад. Купфера, и нам, в новом и пока единственном метрологическом учреждении России, следует продолжать, в современных формах, труд авторитетного русского метролога.

Как только что удостоилось высочайшего утверждения Положение о Главной палате и представление г-на министра финансов о возобновлении прототипов, следовало приступить прежде всего к решению вопроса о материале для новых прототипов, потому что от этого зависели многие части предстоящих действий. Для этой цели я вступил в переписку с известным ученым, членом Royal Society, m-r Matthey, нынешним главою известной фирмы Jhonson — Matthey C°. в Лондоне, на заводе которой переделывают золото и бо́льшую часть платины, добываемой в России и Бразилии. Эта фирма выполнила все килограммы и метры для Международного бюро и, несмотря на массу представившихся трудностей, все это дело довела столь счастливо до конца, что Международная метрическая комиссия многократно публично высказывала ей признательность в своих постановлениях. Сделав запрос г-ну Маттей о времени и стоимости изготов-

---

но они, при других своих занятиях, часто должны помогать делу возобновления или побочными работами, к нему относящимися (например, г. Доброхотов определяет содержание CO_2 в воздухе Палаты), или сношениями, при нем многочисленными и разнородными.

[1] Прежде всего, что у Палаты являются текущие дела, состоящие в выверке мер и весов, доставляемых с разных концов и от разных учреждений России, что должны выполнять те же лица. Список работ этого рода со временем явится во «Временнике».

ления выше перечисленных прототипов сперва из чистой сплавленной платины, я имел в виду спросить затем о таком же заказе из иридистой платины, но, к величайшему моему удовольствию, в первом же своем ответном письме г. Маттей сообщил о том, что у него есть остаток от заказа для Международного бюро иридистой платины того же состава и свойств, какие служили для международных метров, и что он готов сделать и из чистой платины, но цена заготовки тогда будет выше, а потому он предложил воспользоваться сохранившимся у него остатком сплава 90% платины с 10% иридия. Этим определился окончательно материал прототипов, и с разрешения его высокопревосходительства С. Ю. Витте, я взошел в соглашение с г-ном Маттей о том, что он заготовит нам в грубом (не шлифованном или полированном) виде все прототипы по тем самым техническим правилам (касающимся состава, способов отливки, вытягивания, отжигания, отсутствия внешних пороков, удельного веса и т. п.), по которым г. Маттей производил поставку для Международного бюро. А так как ценность такой поставки оказалась ниже предполагавшейся (разочтенной для чистой платины), то оказалось возможным заказать из монетного золотого сплава С.-Петербургскому монетному двору одну фунтовую гирю и подразделения фунта.

Для того, чтобы на месте проследить за всеми операциями производства иридистой платины и особенно за отжигом, вполне необходимым для того, чтобы в металле не оставалось внутренних натяжений и он не изменял своих размеров, а также для того, чтобы следить за качеством (особенно при помощи определений удельного веса предметов) изготовляемых прототипов и избирать лучшие экземпляры, с декабря 1893 г. Ф. И. Блумбах отправился в Лондон. Там он избрал из предложенных ему мер длины лучшие, а для гирь пришлось совершать неоднократную переплавку. К апрелю 1894 г. в первой грубой обделке были готовы все прототипы, и следовало озаботиться об их дальнейшей обработке и окончательном выполнении. Таким образом, благодаря стечению благоприятных условий, в немногие первые месяцы была выполнена первая, хотя не труднейшая, но все же чрезвычайно важная часть предстоящих дел, которые, после изготовления материала прототипов, должны состоять: 1) для мер длины: а) в планировке, т. е. в получении однородной прямой поверхности на тех частях меры, где должны быть деления; б) в нанесении надлежащих делений, т. е. основного расстояния и добавочных линий,

назначаемых для определения длины оборотов микрометрического винта микроскопов, применяемых в компараторах, с обозначением концов меры знаками и надписями; в) в определении длины подразделений основной меры (например дюймов и миллиметров), чтобы при компарировании можно было выражать разности в частях определенной меры; г) в определении коэффициентов линейного расширения (т. е. A и B в уравнении $L_t = L_0 + At + Bt^2$), чтобы при компарировании, производимом при t_1, знать длину при желаемой температуре t_2; д) в прямом (если возможно) или косвенном (при посредстве другой меры, прямо сравненной с прототипом) компарировании с исходными прототипами, в нашем случае — с прототипами английских мер длины, и е) в компарировании с другими мерами длины, в нашем случае — четырех аршинов между собою и с метром. 2) По отношению к прототипам веса или массы, после изготовления их в первоначальном виде, следовало: а) придать им обтачиванием и шлифовкою надлежащую форму и размер; б) отполировать их поверхность, чтобы малейшее постороннее тело и всякие слабые знаки на ней были ясно видны; в) нанести знаки, отличающие отдельные экземпляры прототипов, но столь слабые, чтобы в их углубления не могла осаждаться пыль; г) определить их удельный вес и объем при обыкновенных температурах; д) довести вес приближенно до желаемого, не нарушая полировки; е) произвести полное сличение с нормою, чтобы окончательно определить малый перевес; ж) снять этот перевес, т. е. привести к окончательному весу; з) сличить вес с нормою чрез ряд повторенных, точных взвешиваний; и) произвести такое же сличение со всеми иными экземплярами и копиями, в нашем случае фунта; к) выверить все подразделения основной единицы веса (фунта), чтобы можно было выразить все разности в тех же единицах, и л) произвести сравнение с другими прототипами, в нашем случае с английским фунтом, килограммом и с граммами.

Каждое из этих действий само по себе очень сложно, требует совершенно особой работы, зависящей от требований, предъявляемых к прототипам и не повторяющихся при производстве обычных мер и гирь, где порча отдельного экземпляра не имеет особого значения. Здесь же не только единичность экземпляров, но и большая их ценность заставляют производить каждую операцию только после ряда проб на особых побочных экземплярах, чтобы основные выходили безошибочно. Отсюда отчасти становится уже

понятною продолжительность того времени, которое повсюду идет на возобновление прототипов.

Мне следует теперь описать ряд действий и работ, совершенных уже Главною палатою для достижения желаемого результата. При этом я сперва вкратце скажу о том, что сделано для мер длины, чтобы закончить свой отчет изложением того, что сделано для прототипов фунта и других гирь.

Когда Ф. И. Блумбах известил о том, что у г-на Маттей все заказанные вещи готовы в необделанном виде, тогда, с высочайшего соизволения на представление г-на министра финансов, я был командирован для приема сделанного и для соглашения с мастерами, опытными в делах этого рода, об окончательной выделке прототипов. Меры длины оказались у г-на Маттей в полной исправности относительно всей возможной беспорочности массы, прямизны, однообразия и всех иных качеств, так что они были немедленно приняты, но оставлены в той длине, которую имели и которая была значительно более необходимого. Это было сделано потому, что избытки длины давали возможность производить необходимые пробы разного рода, после же окончательной отделки мер — избыток длины предполагается отрезать, часть взять для определения коэффициента расширения и других свойств, а остальное г. Маттей примет обратно, так как с ним условие заключено на весе металла в первоначальной отделке. Собрав надлежащие справки в Париже и Женеве, где сверх Лондона можно было надеяться найти опытных мастеров, могущих отделать и разделить прототипы длины, я пришел к заключению, что наилучшего результата можно было ждать от всемирно и давно известного лондонского ученого и мастера г-на Симмса, фирма которого (Траутон и Симмс) уже более столетия пользуется заслуженною известностью в отношении изготовления делений на линейных мерах и на кругах для астрономических приборов. Так, тот же г. Симмс в прежнее время изготовил компараторы и основные меры (Временник, ч. 1, Перечень:

$$\text{n°}\,8,\ \text{R}\ \frac{\text{CuSn}}{\text{1 арш.}};\ \text{n°}\,9,\ \text{SR}\ \frac{\text{CuSn}}{\text{1 м. 1 я. 1 ар.}}\ \text{и}\ \text{n°}\,10,\ \text{RS}\ \frac{\text{CuSn}}{\text{1 дю.}},$$

стр. 97 и 98), имеющиеся в Главной палате, и превосходные качества его произведений известны каждому метрологу. В английском Standards Department его работы преизобилуют. Узнав наши желания и приняв во внимание важную метро-

логическую цель предлагаемой работы, г. Симмс, несмотря на свои преклонные годы и массу других заказов, исполняемых множеством опытных мастеров в его мастерской, взялся сам лично выполнить все требуемое, но так как с делениями на иридистой платине он ранее сего не работал, то потребовал, чтобы дано было время выполнить все предварительные опыты, но зато обещал — и исполнил — лично принять и выполнить всю работу, как особо выдающийся, редкий и важный в метрологии предмет. Первые же опыты, производившиеся еще во время моего пребывания в Лондоне, показали, что большую трудность представляет простая шлифовка и полировка той глубоко лежащей плоскости (*ab* на предшествующем рисунке), на которой должны быть нанесены деления, а когда дело дошло до того, чтобы планировать (придать вид одной прямой плоскости) всю длину указанной плоскости в полусаженной мере, которая выше названа четвертою мерою, тогда трудности дошли, казалось, до такой меры, которая остановит все дело. Здесь должно заметить, что линейные платино-иридиевые меры с вышеописанным сечением в виде X до сих пор носили деления лишь по концам, т. е. в тех местах, где должны были наноситься деления, планировали две небольшие площадки, соблюдая лишь то условие, чтобы обе они лежали в одной плоскости (или совпадали, составляли продолжение одна другой). На предположенной же нами полусаженной мере должны быть нанесены полусаженок, аршин, футы, ярд и метр с подразделениями, так что по всей плоскости этой меры предполагаются деления, а для того, чтобы они были равномерно тонки[1] и вообще правильны, неизбежно необходимо, чтобы они наносились на верно отшлифованной (без впадин, неровностей и т. п., т. е. на планированной) и отлично (хотя бы и с матом) полированной плоскости. Следовательно, пришлось решать новую механическую задачу, совершенно не представлявшуюся до сих пор, и притом на таком металле, как иридистая платина, который вообще трудно шлифуется и полируется. Для ее решения не только г. Симмс, но и Ф. И. Блумбах произвели многие опыты, о которых я знаю лишь по письмам и которые, вероятно, будут со временем описаны Ф. И. Блумбахом. Судя по письмам же, наконец, многие попытки увенчались

[1] Толщина делений на современных прототипах обыкновенно около 8 μ. Широкие или толстые черты, а особенно глубокие, редко имеют чистые края и для точных измерений не пригодны.

полным успехом, и весной 1895 г. г. Симмс приступил уже к нанесению делений. Но для лучшего выполнения делений г. Симмс решился сделать их сперва на одном из верхних краев полусаженной меры[1] с тем, чтобы здесь определить погрешности, могущие произойти от особенностей редкого металла (обычные точные и тонкие деления делаются на металлах более мягких: золоте, палладии, серебре) и от значительного различия в коэффициенте линейного расширения английских прототипов и наших мер (коэффициент линейного расширения бронзы Байли на 1° Ц около 0.00001705, а иридистой платины — около 0.00000866, т. е. почти в два раза менее). Определив полною компарациею длину нанесенных на верхнем крае расстояний и величину поправок, которые должно в них сделать, затем следует, способом копирования, перенести деления (с поправками) на надлежащее место, т. е. на нейтральную плоскость *ab*. Судя по письмам, в мае 1895 г. первая часть работы сделана, и затем г. Блумбах, пользуясь богатыми средствами и образцами английского Standards Department, а более всего благорасположенным вниманием, которое мы встретили в этом учреждении, произвел определение истинной длины аршина в отношении к нанесенному на полусаженную меру. Когда же вновь найдена будет необходимая поправка, она будет введена при нанесении крайних точек первого аршина. Он опять выверится, и на следующем прототипе длина его, если будет нужно, еще исправится, так что последние экземпляры прототипа аршина, должно быть, будут представлять надлежащую длину со всею возможною степенью точности. А так как все подобного рода сличения требуют очень много времени, при необходимости многих компараций, из которых, как это делается всегда, берется среднее, то очевидно, как продолжительно должно длиться приготовление прототипов и окончательное нанесение на них крайних точек. Когда же они будут готовы, окончательная их выверка будет произведена в самой Главной палате. Для этой-то цели теперь и ведутся три побочные работы: 1) выверка дюймов на имеющемся у нас ярде, уже произведенная С. И. Ламанским (см.: Временник, ч. 2, ст. 10, стр. 118); 2) выверка аршина (Временник, ч. 1, Перечень, п° 8, стр. 97) по дюймам вышеупомянутого ярда и 3) сличе-

[1] При этом, очевидно, должно было особо позаботиться как о постоянстве и определенности температуры, так и о том, чтобы мера не была при нарезке нисколько изогнута, т. е. лежала на плоскости.

ние бронзового ярда, вновь приобретенного для Главной палаты, с английским прототипом ярда в Лондоне, производимая директором Standards Department г-ном Ченеем и г-ном Блумбахом. Когда к нам придет этот ярд, мы узнаем, независимо от лондонских измерений, истинный аршин, чрез компарацию первого (из выше перечисленных) с третьим и второго с первым. К тому же времени, быть может, закончится и изучение подразделений метра, которое начато будет в Палате, лишь только дозволит время, чтобы под конец выразить длину как ярда и аршина в миллиметрах, так и метра в дюймах, следовательно, и в аршинах и в вершках. Для успешного хода всех этих работ, ныне мы обладаем, однако, лишь недостаточным числом компарационных приборов и лиц, могущих вести столь деликатные измерения, какие предстоят при установке нового прототипа длины, со всею ныне возможною (до $\pm 0.2\mu$) степенью точности. Но, с одной стороны, когда возвратится вместе с прототипами Ф. И. Блумбах и лаборанты, приглашенные для этой цели, приобретут надлежащую практику в точных измерениях, — число лиц возрастет, а во-вторых, быть может, мы и получим средства и возможность приобрести новые компараторы, необходимые для успешнейшего хода работ с изучением линейных мер и свойственных им расширений.[1]

Дело с прототипами фунта, хотя представило множество своих трудностей, гораздо более подвинулось к надлежащему концу. Ход работ в этом отношении начался в самой Главной палате с изучения весов, оставшихся от прежде бывшего Депо мер и весов, и с возможного их приведения к состоянию, способному для точных взвешиваний. Дело в том, что главные виды бывших у нас точных весов (для 1 килограмма, для 20 килограмм, для 500 граммов, для 50 граммов и для 2 граммов) все оказались обладающими хорошею чувствительностью, зависящею от хорошего их выполнения такими мастерами, как Эртлинг, Колло и другие, так что, например, при 1 килограмме нагрузки первые весы дают на 1 мг уклонение в 2 деления, а последние при 1 грамме нагрузки от 0.1 мг дают отклонение на 8 делений, в кото-

---

[1] Последнее известие, полученное мною от Ф. И. Блумбаха в телеграмме из Лондона от 8/20 июня 1895 г., состоит в следующем (в переводе): «Проверил все триста делений, нанесенных на верхней поверхности, Симмс теперь их переносит внутрь. Блумбах». Дело идет, очевидно, о полусаженной мере, которая имеет, как сказано выше, много различных делений. Это уже очень важный шаг, но затем остается еще не мало других.

рых ясно можно определить десятые. Но постоянство показаний, особенно при значительных грузах (например в 1 килограмм или в 1 фунт), было вовсе неудовлетворительно в современном смысле, например, достигало в отдельных взвешиваниях только до 0.3 мг при 1 кг. Причинами этого непостоянства служили, очевидно, два обстоятельства: во-первых, помещение весов, во-вторых, несовершенство их устройства. Весы помещались в верхнем этаже здания Главной палаты на колоннах и перекинутых чрез зал арках, покоящихся на нижних солидных устоях центральных комнат главного этажа здания. Это высокое помещение сверху освещается тройною стеклянною крышею, дающею много света, и с внешней стороны очень удобно, но по существу (от колебания высоких колонн и от неравномерности действия солнечного света) непригодно для точнейших взвешиваний. Поэтому одно из центральных помещений главного этажа здания Палаты было освобождено от других приборов и назначено исключительно для весов, что обязывало, однако, прибегнуть тотчас к электрическому освещению, так как дневного света в этом, со всех сторон замкнутом, помещении было недостаточно.[1] Это помещение со всеми в нем находящимися весами будет со временем подробно описано, теперь же замечу только, что чрезвычайное постоянство (зимою и летом от 17 до 20° Ц) температуры этого помещения и твердость его центральных устоев очень благоприятствуют достижению в нем возможно точных результатов взвешиваний. Но я считаю необходимым обратить внимание на то, что вредное влияние на точность взвешиваний неравномерности и переменчивости температуры весового помещения (а следовательно, и изменчивость относительной длины плеч весов) значительно уменьшается введенною системою взвешиваний, о которой я считаю необходимым говорить в особой статье. Здесь замечу только, что обычное точное взвешивание (с перекладыванием гирь и с определением чувствительности), состоящее из 3 взвешиваний,[2] основано на предположении неизменности в отношении длины плеч в период 3 взвешиваний, тогда как введенное мною основывается на определении меры изменения этого отношения во

---

[1] Приведение в должный порядок этого помещения (равно как и другого, подобного же, назначенного исключительно для компараторов) и устройство электрического освещения от аккумуляторов заняло несколько месяцев.

[2] Наименьшее число, а именно: AB, BA и $B\,(A+r)$ по обозначению, далее объясненному.

время некоторого числа взвешиваний, следующих друг за другом, с отметкою времени, которому они отвечают. Не входя в подробности, скажу только, что обыкновенно взвешивания наши состоят ныне из системы 7 взвешиваний при наблюдении каждый раз четырех (или пяти) отсчетов шкалы, например:

1) AB, 2) $A(B+r)$, 3) AB, 4) BA, 5) AB, 6) $A(B+r)$, 7) AB,

где AB означает, что на левой чашке лежит груз A, на правой B; BA — будет перемена мест; $A(B+r)$ означает добавку к одному из грузов определенной гири (например 1 мг) для определения чувствительности. Взвешивание AB, повторяясь 4 раза, и взвешивание $A(B+r)$, повторяясь 2 раза, дают эмпирический закон изменения длины плеч, что открывает возможность получать более точный результат, относя его в данном случае (если промежутки времени одинаковы) к среднему времени 4-го взвешивания или, вообще, делать поправки на время взвешивания. Предшествующий порядок взвешивания особо пригоден тогда, когда перекладывание грузов из AB в BA и опять в AB производится от руки. Если же оно делается механическими приспособлениями издали, как указано далее и как применяется уже часто при точных взвешиваниях, тогда еще лучшим порядком полного взвешивания можно считать систему:

1) AB, 2) BA, 3) AB, 4) $A(B+r)$, 5) AB, 6) BA, 7) AB.

При этом AB повторяется 4 раза и указывает состояние весов во все эпохи. В наиболее простом виде то же достигается системою из 5 взвешиваний:

1) AB, 2) $A(B+r)$, 3) AB, 4) BA, 5) AB.

При 9 взвешиваниях результат еще более отвечает требованию:

1) AB, 2) BA, 3) AB, 4) BA, 5) $B(A+r)$, 6) BA, 7) AB, 8) BA, 9) AB,

потому что здесь AB и BA повторены по 4 раза.[1] Строгое применение указанного способа взвешиваний при том устройстве, которое имели весы, доставшиеся Палате (см. сочинение

[1] В Международном Бюро (Travaux et Mémoires, t. VIII) при установке килограммов чувствительность определялась в иное премя, чем то, в которое производилось самое взвешивание, что составляет недостаток, зависящий от устройства весов Рупрехта, служивших для взвешиваний.

В. С. Глухова «О способах точных взвешиваний», 1878 г.), однако, не могло приводить к наилучшим возможным результатам, потому что наблюдатель должен был (глядя в микроскоп, направленный на шкалу) помещаться подле самых весов, и его лучистое тепло должно неправильно влиять на изменение отношения длины плеч и сверх того потому, что для перемены грузов (из AB и BA) и для определения чувствительности (т. е. для наложения добавочного груза r) приходилось отворять дверцы весов и класть грузы щипцами, что должно было нарушать естественный ход перемен, совершающихся с весами от лучеиспусканий окружающего пространства. Для того, чтобы по возможности урегулировать эти неправильности, я ввел в вышесказанные весы следующее устройство: кругом коромысла (внутри весового ящика) закрепляется толстая и широкая медная (из красной меди, как хорошего проводника тепла) рама, назначающаяся для защиты коромысла от посторонних лучей тепла и для возможно равномерного распределения тепла по всей длине коромысла. Хотя такое приспособление несомненно улучшает[1] взвешивания, но еще лучших результатов, конечно, должно было ждать от весов, устройство которых допускает совершать все действия, по системе необходимые, не приближаясь к весам, а именно: 1) издали, (чрез посредство зрительной трубы) производить отсчет качаний коромысла;[2] 2) издали помещать освещенную шкалу, которая чрез отражение в зеркале (призме), качающемся вместе с коромыслом,[3] давала бы возможность производить отсчет колебаний; 3) издали (чрез посредство передаточных горизонтальных стержней с Гуковым шарниром) производить

---

[1] Его должно особенно рекомендовать для обычных, особо не приноровленных помещений весов в лабораториях. Так как указанное устройство (окружение коромысла неподвижною медною охватывающею рамою) оказалось явно улучшающим результаты (постоянство) взвешиваний, то я развил эту мысль дальше и заказал весы, коромысло которых со всех сторон окружено коробкою толстой красной меди, имеющею только два отверстия внизу для пропуска подвесок для чашек и одно отверстие (закрытое медною же коробкою с двумя плоско-параллельными стеклами) сверху, чрез которое проходят два зеркала, прикрепленные к коромыслу и служащие для наблюдения колебаний коромысла. Но такие весы еще не было времени подвергнуть точному испытанию. Они, в свое время, будут особо описаны.

[2] Наблюдение колебаний весов при помощи удаленной шкалы и трубы, сколько мне известно, в первый раз применялось в 50-х годах Штейнгейлем в Мюнхене. Я пользовался этим приемом в 60-х годах.

[3] Этот прием начал применяться вместе с отсчетом трубою много лет сему назад.

всю арретировку; 4) издали (т. е. от места наблюдателя) при помощи соответственных передаточных приспособлений производить перемену грузов на чашках (из *AB* в *BA*).[1] Четыре эти усовершенствования весов, как общеизвестно, применены в Международном бюро при выверке международных килограммов, и Главною палатою были заказаны такие же весы известной венской фирме Рупрехта, который такие весы устроил и для Международного бюро (описание и изображение в Travaux et Mémoires, t. I), что и сделано было в 1893 г. Но получив эти весы (в феврале 1895 г.), я ввел в них, при посредстве механика Палаты г-на Мельзаса, еще одно усовершенствование, а именно: 5) издали (от того места, где сидит наблюдатель, смотрящий в зрительную трубу) накладывать добавочный вес (в предшествующем он означен буквою *r*). Только при этом можно было строго выполнить рациональные системы точных взвешиваний, ни разу не приближаясь к весам при 5 и более взвешиваниях.[2] Но ранее, чем получены были эти весы г-на Рупрехта, получились в январе 1895 г. килограммовые же весы другого известного венского механика г-на Неметца, заказанные ему еще в 1891 г. для взвешиваний в безвоздушном пространстве. Весы эти будут у нас описаны (и изображены) со всею подробностью, потому что составляют во многих отношениях новый успех в деле устройства точных весов, так как весы г-на Неметца не только удовлетворяют всем пяти вышеизложенным требованиям, не только обладают большою чувствительностью и хорошим постоянством,

[1] Устройство первых весов с таким приспособлением, сколько мне известно, выполнено по проекту проф. Арцбергера, известным механиком Рупрехтом в Вене, в начале 70-х годов. Венский механик г. Неметц ввел для этого иное, новое и быстрее действующее приспособление.

[2] Довольствоваться для многих взвешиваний постоянною чувствительностью, как это делается в Международном бюро, я считаю рискованным, ввиду существующего устройства весов. Следовало бы отражающее зеркало (призму) поместить в плоскости ребра средней призмы коромысла, иначе чувствительность, как заметил Марек, изменяется с температурою (от перемены положения центра тяжести). Замечу еще, что оправданные опытом наблюдения Тизена над изменением чувствительности (а следовательно, и времен колебания), при увеличении размахов колебаний, заставляют принять правилом, чтобы размахи качаний (определяемые арретировочными приспособлениями) всегда были, по возможности, однообразны и невелики. Только сознательно овладев всею техникою точных взвешиваний в такой мере, в какой это сделано Ф. П. Завадским и В. Д. Сапожниковым, можно достигать того согласия данных в тысячных миллиграмма, какой ныне мы достигли в Главной палате благодаря принятой системе, прекрасным весам Неметца и Рупрехта и хорошему положению весов в средине здания Палаты на очень солидных устоях.

но и допускают при этом взвешивания в безвоздушном пространстве, так как держат пустоту (с упругостью оставшегося воздуха до 5 мм ртутного столба) в течение 20 часов,[1] как показал прямой опыт. Но и в этих весах, после их получения, нам пришлось сделать одну перемену для удобства и точности взвешиваний, а именно, поместить 2 шкалы, изображение коих чрез отражение в призмах дает отсчет колебаний, не на уровне весового коромысла, (как было устроено г-ном Неметцом), а на потолке помещения, чрез что убавляется возможность боковых нагреваний и получается выигрыш в размещении. При помощи обоих названных весов, помещенных с возможною симметричностью[2] в вышеуказанной центральной комнате Палаты на несомненно твердых устоях, пользуясь вышеуказанной системою из 7 взвешиваний, г.г. Завадский и Сапожников, ведущие взвешивания, уже достигли того, что *постоянство результата вполне ответило чувствительности*, т. е. если при навеске в 1 фунт или в 1 кг добавочный груз в 1 мг дает уклонение на 25 делений шкалы, по которой можно отсчитывать десятые доли деления, т. е. если видимая глазом чувствительность доходит до 0.004 мг, то двукратное взвешивание (всего каждый раз с одним перекладыванием из *AB* в *BA*) дает результат, который при повторении взвешивания отличается от следующего, такого же среднего вывода, лишь на доли, не большие, чем 0.004 мг, следовательно, не большие, чем отчетливость наблюдения. Таковы результаты всех последних взвешиваний, производимых на весах Неметца и Рупрехта с апреля и мая 1895 г. Ф. П. Завадским и В. Д. Сапожниковым, которые своим отношением к делу много подвинули его вперед и дадут впоследствии полные отчеты. Просматривая отчеты других подобных точных взвешиваний, я нигде не находил столь точных взвешиваний — по постоянству, — а потому мы можем уже ныне с уверенностью говорить, что системою небольшого числа повторенных взвешиваний мы, наверное, достигнем точностей результата в тысяч-

---

[1] Но поныне мы ведем на них взвешивания в воздухе. Недостаток в числе лиц и в отдельном помещении для важнейших весов препятствуют нам в производстве многих важных работ, так как все силы направлены прямо на возобновление прототипов.

[2] Симметричность расположения весов по отношению к стенам, колоннам и тому подобным частям помещения имеет то значение, что температурное равновесие обоих плеч коромысла достигается скорее и сохраняется с большею устойчивостью, что ведет к постоянству результатов.

ных миллиграмма.[1] Выше такой точности взвешиваний ныне нельзя требовать. Припомним, что 0.001 мг при грузе в 1 кг составляет миллиардную его долю, т. е., например, при 1 миллионе рублей в золотых монетах только $^1/_{10}$ копейки. Определение с уверенностью таких мелких частей веса составляет одно из приобретений, которое XIX век оставит для будущих веков. В конце прошлого века точность взвешиваний была, по крайней мере, в 1000 раз меньшей, и в будущем идти много далее уже будет очень трудно, потому что самое перемещение грузов сопряжено с некоторою потерею массы и заставляет при прототипах всегда иметь особые образцы — замурованными, без доступности, с тем, чтобы, таким образом, пользоваться ими только чрез многие годы для выверки копий прототипов и для определения их потерь, неизбежных при применениях.

Описав сущность того, что сделано для возобновления прототипов в отношении к весам, мне остается изложить ход работ по взвешиваниям и по заготовлению прототипов фунта.

Важнейший из первых здесь вопросов относился к существующему платиновому прототипу фунта, который, как упомянуто в начале статьи, долгое время совершенно не применялся для взвешиваний. Следовало узнать его современный вес в отношении к килограмму, международный прототип которого имеется в Палате. К этой работе приступлено было еще тогда, когда мы пользовались прежним положением весов и прежними весами без новых в них улучшений, сделанных отчасти вследствие собрания многих данных по указанному вопросу о весе фунта в граммах.[2] А так как в эту эпоху наши взвешивания представляли погрешности, доходившие до десятых долей миллиграмма, по причинам, объясненным выше сего, то полученный вес фунта содержит вероятную погрешность, быть может, даже до ± 0.2 мг, потому что повторять взвешивания многократно

---

[1] Если при 10 парных взвешиваниях разности будут не более 0.004 мг, то разность от общего среднего вывода будет менее 0.002 мг, скажем даже, что в среднем она будет 0.002 мг. Тогда сумма квадратов разностей будет в миллиграммах $= 0.00004$, следовательно, вероятная погрешность среднего $\pm 0.675 \sqrt{\frac{0.00004}{10.9}}$ или около ± 0.0004 мг. При четырех парных взвешиваниях вероятная погрешность среднего, наверное, будет не более 0.001 мг.

[2] Так как для этого пришлось систематически выверить, исходя из килограмма, весь граммовый разновес.

мы не решались, для того чтобы не тревожить прототипы фунта и килограмма. Притом на первое время и не требовалось высшей точности, желательно же было узнать вес фунта в граммах лишь для того, чтобы судить о истинном весе прототипа. Взвешивания велись Ф. П. Завадским и В. Д. Сапожниковым и начались с изучения в начале 1894 г. платино-иридиевого граммового разновеса $E\frac{\text{PtIr}}{\text{р грамм}}$ (Перечень, п° 4*), взяв за исход международный килограмм. Когда удельные и абсолютные веса этого разновеса были установлены, тогда, а именно в марте 1894 г., однократное взвешивание, которое должно рассматривать только как *предварительное*, дало для прототипа русского фунта вес в пустоте (принимая плотность, определенную в 1875 г. Глуховым, Тимирязевым и Завадским $0°/4° = 20.5244$, как указано во «Временнике», ч. 1, стр. 90):

$$\text{ф.}\frac{\text{Pt}}{1835} = 409.51236 \pm 0.00020 \text{ г.}$$

А так как В. С. Глухов, исходя из купферовских сличений, точность коих нельзя принимать большею, чем ± 0.0007 г, нашел для фунта

409.5115637 г,

а сам Купфер (Travaux de la Comm... de Russie, 1841, т. 2, стр. 414) нашел под конец, что 1 кг $= 22504.859$ доли, что дает для фунта вес

409.51161 г,

то можно было считать доказанною неизменность веса прототипа веса русского фунта со времени Купфера, так как разность нашего взвешивания от купферовского ($= +0.00075$ г) не превосходит суммы возможных погрешностей обоих сравнений ($0.0002 + 0.0007 = 0.0009$ г).

Разбирая имущество, поступившее в Палату, мы нашли две фунтовые гири, применявшиеся Купфером в его работах и сравненные в былое время с настоящим фунтом. Хотя внешний вид этих гирь (см.: Второй перечень, Временник, ч. 2, стр. 149 и 150, п° 26 и п° 27) внушал некоторое сомнение в их полной сохранности (часть позолоты, особенно у п° 5, очевидно от употребления, сошла), тем не менее их

---

* См.: Временник, ч. 1, стр. 92. [*Прим. ред.*].

удельный вес и абсолютный вес был определен. Истинный вес этих гирь в пустоте —

$$N\,\frac{CuSn}{ф.\ 1833} = 409.50765 \text{ и } n°5\,\frac{CuSn}{1834} = 409.50962 \text{ г}$$

— оказался меньше веса прототипа фунта, но для оценки полученного результата необходимо принять во внимание, что Купфер для поправки на вес вытесненного воздуха брал числа Био и Араго (для СПб. 1.3043 г для литра при 0° и 30 дюймах давления), а потому (так как объем бронзовых гирь около 50 мл, платиновой же гири около 20 мл) считал вес воздуха выше, чем ныне должно признать, а потому если бы Купфер произвел сравнение ф. $\frac{Pt}{1835}$, например, с $n°5\,\frac{CuSn}{ф.\ 1834}$, то нашел бы, что их разность (в пустоте) равна +0.00256, а не +0.00274 г, как найдено нами, при современных сведениях о весе литра воздуха. Во всяком случае, веса найденных фунтов оказались меньшими, чем платинового прототипа, что согласно с тем, что эти гири, очевидно, применялись и потеряли часть своего веса. Все это укрепило уверенность в том, что при возобновлении следует признать вес существующего платинового прототипа за единственную норму, с которою должно сообразовать вес изготовляемого нового прототипа. Эта уверенность — очень важна при возобновлении.

Не описывая других работ, произведенных в Палате для выверки английского фунта и гирь в несколько фунтов, потому что они имеют лишь косвенное отношение к возобновлению, я считаю необходимым сказать теперь о том, что, отправляясь в Лондон, я взял с собой имеющийся у нас платино-иридиевый английский торговый фунт (Временник, ч. 1, стр. 90, Перечень, n°2) и, благодаря чрезвычайной обязательности как управляющего Board of Trade, sir Courtenay Boyle, так и директора Standards Department г-на Ченея, имел возможность в ряде взвешиваний, произведенных вместе с г-ном Ченеем и г-ном Блумбахом, сличить наш фунт не только с основным прототипом английского фунта, но и с тремя другими важнейшими его копиями, что со временем будет подробно описано.

Что касается до приготовленных г-ном Маттей гирь, то, приняв их в необделанном виде, я передал их для первоначальной отделки известному лондонскому производителю весов и гирь г-ну Эртлингу с тем, чтобы он их обточил,

шлифовал и полировал, оставив избыток веса в каждой гире для окончательной пригонки. При обтачивании некоторые гири оказались или с видимыми внешними пороками, или низкого удельного веса (ниже 21.2), что показывало скрытые внутренние пороки; такие гири были заменены другими. На некоторых гирях (например в 400 грамм) г. Эртлинг оставил большой избыток веса, так что первоначальную обделку их пришлось вновь заканчивать в самой Палате. Работы эти почти закончились ко времени моего отъезда из Лондона; часть гирь, однако, получена позднее, но главную массу гирь взял уже с собою для того, чтобы труднейшую часть работы, а именно, окончательную отделку и пригонку к должному весу, закончить в самой Палате, что и производится по настоящее время Ф. П. Завадским и мастером Палаты г-ном Мельзасом, вперемежку с определениями удельного и абсолютного веса, которым предшествует вымывание в слабой кислоте, воде, спирте и эфире, а затем высушивание в пустоте. Единовременно ведется постепенная отделка всех новых гирь, т. е. четырех фунтов, платино-иридовых и золотых подразделений фунта и суммы (начиная с 400, 300, 200, 100 граммов веса) граммовых гирь. Опытами г.г. Завадский и Мельзас дошли до того, что вес гири можно убавлять на малую величину, даже на сотые доли миллиграмма. Но эта работа идет очень медленно, потому особенно, что гире нельзя давать значительно разогреваться, так как иначе нельзя скоро определять ее настоящий вес. Приемы, примененные в этом деле, вероятно, также будут в свое время описаны Ф. П. Завадским. В настоящее время почти все гири доведены до того, что в них остался избыток веса лишь в несколько миллиграммов, и пред окончательною подгонкою они со всею возможною ныне точностью изучаются в своем истинном весе, причем фунтовые гири сравниваются как между собою, так и с имеющимся платиновым прототипом, до веса коего (в пустоте) их должно довести.

Эти определения и определения удельного веса каждой гири ведутся преимущественно Ф. П. Завадским и В. Д. Сапожниковым, при участии А. Н. Доброхотова. Остается, следовательно, окончательная пригонка веса и ряды взвешиваний для определения истинного веса. Что касается до этой последней работы, то, судя по изложенному выше, можно быть уверенным, что взвешивания пойдут правильно и дадут истинные веса, с точностью в тысячных долях миллиграмма для фунтовых гирь, а для более мелких,

конечно, еще с меньшею погрешностью. Здесь нужно только время, которого потребуется много, не только потому, что каждое сличение будет повторяться, например, для фунтовых гирь, по крайней мере, по 4 раза двумя наблюдателями, но и потому, что гирь, подлежащих сличению, много, а каждое взвешивание, отвечая вышеуказанной системе, требует вместе с наблюдением давлений, влажности и температуры и с неизбежными перерывами, в среднем, не менее 2 часов от двух наблюдателей: один ведет отсчет, другой записывает, чтобы в следующий раз смениться; расчеты ведут оба, чтобы не было погрешностей счета, очень легко возможных при сложности каждого взвешивания, состоящего обыкновенно из 7 взвешиваний, при записи в каждом времени 4 или 3 показаний шкалы. А так как наши лучшие весы, по отсутствию других помещений с прочными устоями, приходится иметь все в одной комнате, отличной во всех отношениях, и так как единовременно в этой комнате нельзя производить двух взвешиваний, то и становится совершенно очевидным, что, несмотря на то, что гири близки к окончательной готовности, окончание всей предстоящей работы взвешиваний потребует еще многих месяцев работы всех участников. Но конец дела здесь уже вполне обеспечен и довольно ясно виден.

Считаю необходимым заметить далее, что одноименных гирь в числе вновь заготовляемых нет других, кроме фунтовых, а потому надписи требовались только для фунтовых гирь. На одной из них изображен русский герб, на другой — корона, на третьей — вензель государя императора вместе с годом (1894) изготовления, и эта же последняя надпись повторена на золотом фунте. Для того же, чтобы надписи эти не нарушали сплошности поверхности, позволяющей видеть и удалить малейшие следы пыли, надписи эти не выгравированы каким-либо твердым или режущим инструментом, а составлены из ряда мелких кружков, произведенных на гравировальном станке быстро вращающимся стержнем из твердого дерева или стали. Прием этот, оставляя поверхность гладкою наощупь, дает знаки, очень отчетливо видимые и представляющие много преимуществ пред гравированными или выдавленными знаками, затрудняющими полную чистоту поверхности, что при достигнутой чувствительности весов должно уже иметь свое значение. Две из фунтовых гирь были намечены по этому способу еще в Лондоне у Эртлинга, а две другие, носящие вензель государя императора Николая II, намечены в мастерских Экспедиции

заготовления государственных бумаг, в С.-Петербурге, благодаря любезному содействию управляющего ею, его превосходительства Р. Э. Ленца.

В заключение считаю полезным показать в числах ту степень точности выводов или согласия отдельных (хотя и не единичных) определений, которой достигли исследования, произведенные в Международном бюро мер и весов при новейших сличениях прототипов. Для этой цели совокупляю здесь выводы из данных для того прототипа метра № 28 и для того прототипа килограмма № 12, которые имеются в Главной палате, заимствуя из «Travaux et Mémoires du Bureau International des Poids et Mesures», t. VII, 1890, стр. 59—83, выводы, относящиеся до метра, и из t. VIII, 1893, стр. 41—71 и t. VII, стр. 102—108 — выводы, касающиеся сравнения нашего килограмма с прочими прототипами.

Метр № 28 был прямо сличен (Mrs. Benoit et Isaachsen под руководством Mr. Broch) с 10 другими прототипами международных метров, и результаты сравнений, отнесенные к 0° и отвечающие каждый раз среднему из 4 отдельных полных компараций, выражаются уравнениями, данными в первом столбце. Во втором столбце дано то окончательное значение, которое найдено (стр. 83) для каждого метра, служившего для сличений. На основании этого последнего вероятнейшего вывода найдено, в столбце третьем, уравнение метра № 28. Сверх того, в последней строке дано косвенное сличение № 28 с тем прототипом M (который сперва был № 6), который окончательно принят равным архивному прототипу метра. Все сличения приведены к 0° и произведены в воде.

№ 28 = №A + *n* микрон	№ A = 1 м	№ 28 = 1 м + *n* микрон
№ 28 = № 25 — 0.09 μ	+ 0.7 μ	№ 28 = 1 м + 0.61 μ
» » = № 26 — 0.46 »	+ 0.9 »	» » = 1 м + 0.44 »
» » = № 27 + 2.24 »	— 1.6 »	» » = 1 м + 0.64 »
» » = № 29 + 3.45 »	— 2.8 »	» » = 1 м + 0.65 »
» » = № 30 — 2.31 »	+ 2.8 »	» » = 1 м + 0.49 »
» » = № 4 + 1.09 »	— 0.8 »	» » = 1 м + 0.29 »
» » = № 10 + 1.09 »	— 0.8 »	» » = 1 м + 0.29 »
» » = № 16 + 1.05 »	— 0.6 »	» » = 1 м + 0.45 »
» » = № 22 + 1.86 »	— 1.3 »	» » = 1 м + 0.56 »
» » = 1_2 — 5.58 »	+ 6.0 »	» » = 1 м + 0.42 »
» » = M + 0.68 »	0	» » = 1 м + 0.68 »

Отсюда, как вероятное среднее, вытекает:

$$№\ 28 = 1\text{ м} + 0.50\ \mu.^1$$

Этот вывод вполне согласуется с тем, который сообщен в удостоверении Международного бюро (см.: Временник, ч. 1, стр. 100). Наибольшая разность сличений $= 0.39\ \mu$, вероятная же погрешность не более $\pm 0.03\ \mu$. Сколько мне известно, при сличении мер длины никогда не достигалось большей, чем указанная, степени точности. Средства компарации, имеющиеся в распоряжении Главной палаты, судя по ныне уже выполненным компарациям, позволяют достигать у нас подобной же степени точности, если будут, как здесь, сравниваться в воде меры, приготовленные из одного материала и очень сходственные по длине, так что можно надеяться, что наши сличения мер длины, при соответственных условиях, не уступят в точности сличениям, сделанным в Международном бюро. Указанную степень точности можно превзойти, по моему мнению, только построив новые компараторы с многими улучшенными подробностями устройства, но нельзя не указать на то, что при современных основных приемах компарации едва ли можно достичь того, чтобы отдельные определения представили разность не в десятых, а в сотых долях микрона, так как толщина (ширина) самых делений на металлических прототипах, и то с трудом, доводится лишь до 7—8 μ, следовательно, в самой установке нитей микроскопа можно ждать погрешностей в десятых микрона. Словом, техника сличений мер

[1] По правилу «меднан», данному М-г Estienn (в 1890 г.), вероятнейший вывод из ряда данных отвечает не общему арифметическому среднему, а средней реальной величине из числа наблюденных, которая найдется, располагая все выводы по порядку их численной величины. Так, в указанном примере, отбросив 4 низшие величины (от 0.29 до 0.45) и 4 высшие (от 0.61 до 0.68), получим 3 средних, а именно по порядку величин: 0.45, 0.49 и 0.56, что дает вероятный вывод $+ 0.49\ \mu$. Он здесь совершенно согласен с арифметическим средним, а это указывает, что погрешности следуют определенному закону, принятому Гауссовскою теориею вероятностей, т. е., что наблюдения не содержат крупных случайных уклонений, а определяются неизбежными погрешностями наблюдений. Считаю не излишним обратить внимание на то, что я, с своей стороны, пользуюсь иным приемом для оценки стройности ряда наблюдений, долженствующего давать тождественные числа, а именно распределяю все числа на 3, по возможности равные, разряда (если число наблюдений не делится на 3, то наибольшее число оставляется в среднем разряде): наибольшие, средние и наименьшие; среднее из среднего разряда считается вероятнейшим (здесь оно $= 0.51\ \mu$), а если к нему близко среднее из остальных разрядов (здесь оно $= 0.53\ \mu$), то наблюдения считаются стройными. Но в расчетах Главной палаты мы держимся обычных выводов Гаусса.

длины ныне почти достигла до предела точности, определяемого техникою самого производства нарезных мер длины.

Что касается до килограмма №. 12, имеющегося в Главной палате, то он в Международном бюро сличен с 12 другими прототипами. Взвешивания производили M-rs Thiesen et Kreichbauer. Каждое сличение составляет результат 32 отдельных взвешиваний (или с повторявшимися нагрузками, или с перекладкою, или с переменою добавочных грузов), а каждое взвешивание — из 4 отсчетов качаний. В результат введены все поправки. В первом столбце опять даны равенства для № 12 по сличению его с некоторыми другими килограммами № А, во втором столбце приведено окончательное значение, выведенное для этого последнего (т. VIII, стр. 108), а в третьем — вытекающее из предшествующих данных значение № 12.

№ 12 = № А + n мг[1]	№ А = 1 кг + [n мг]	№ 12 = 1 кг + n мг
№ 12 = № 4 + 0.1469 мг	— 0.075 мг	№ 12 = 1 кг + 0.0719 мг
» » = № 6 — 0.0935 »	+ 0.169 »	» » = 1 » + 0.0755 »
» » = № 8 — 0.1836 »	+ 0.260 »	» » = 1 » + 0.0764 »
» » = № 14 — 0.1772 »	+ 0.247 »	» » = 1 » + 0.0698 »
» » = № 16 + 0.0209 »	+ 0.056 »	» » = 1 » + 0.0769 »
» » = № 19 + 0.3434 »	— 0.276 »	» » = 1 » + 0.0674 »
» » = № 24 + 0.2518 »	— 0.191 »	» » = 1 » + 0.0608 »
» » = № 26 + 0.0953 »	— 0.032 »	» » = 1 » + 0.0633 »
» » = № 37 — 0.1771 »	+ 0.244 »	» » = 1 » + 0.0669 »
» » = № 25 — 0.0378 »	+ 0.107 »	» » = 1 » + 0.0692 »
» » = № 40 + 0.0927 »	— 0.037 »	» » = 1 » + 0.0557 »
» » = К + 0.0579 »	0 »	» » = 1 » + 0.0579 »

Отсюда, как вероятное среднее, вытекает, что

№ 12 = 1 кг + 0.0676 мг,[2]

а это опять вполне согласно с выводом, сделанным Международным бюро (+ 0.068 мг: Временник, ч. 1, стр. 94).

[1] Если находилось несколько различных результатов отдельных сличений [так для № 12—№ 40 имеется три, одно (т. VIII, стр. 41) дало + + 0.0941 мг, другое (т. VIII, стр. 71) дало + 0.0928, третье (т. VII, стр. 102) дало + 0.0927], то я брал то из них, которое принято в выводах Бенуа (т. VII), который, как директор Бюро, мог избрать лучшие из выводов.

[2] По правилу «медиан», вероятнейший вывод есть + 0.0683, по тому, о котором я говорил в выноске на предшествующей странице, + 0.0684. Отсюда видно, что все способы вывода согласно дают + 0.068, что указывает на то, что уклонения отдельных определений зависят от случайных обстоятельств и что средняя погрешность самостоятельного взвешивания (содержащего 32 взвешивания) Тизена близка к ± 0.006 мг.

Здесь разность между отдельными определениями достигает до 0.021 мг, но вследствие многочисленности определений вероятная погрешность среднего результата не превосходит $\pm$ 0.0013 мг. Если же в достигнутых за последнее время в Главной палате взвешиваниях отдельные определения, производимые раздельно Ф. П. Завадским и В. Д. Сапожниковым и состоящие каждое из 14 взвешиваний, не различаются между собою более, чем в тысячных долях миллиграмма, а обыкновенно менее 0.004 мг, то в наших взвешиваниях, благодаря скоплению многих благоприятных обстоятельств и условий, достигнута не только не меньшая, а даже значительно большая степень точности.

В виде примера взвешиваний, производимых в Главной палате, привожу результат двух единичных, но полных взвешиваний из самого последнего времени (3 и 7 июня 1895 г.), когда сличались между собою две платино-иридиевые фунтовые гири и нагрузки были оба раза тождественны. Притом эти взвешивания велись на таких же весах Рупрехта, какие применяются в Международном бюро. А так как дело идет о сравнениях не окончательных, а лишь требующихся по ходу производимых при возобновлении работ, то здесь взяты самые простейшие приемы точных взвешиваний. При окончательных сличениях, применяя несколько новых приемов, мы надеемся достичь высшей точности, чем та, которая здесь требовалась.

$A = 1$ *фунт*, герб, 1894; $B = 1$ *фунт*, корона, 1894 + добавочный груз, вес которого еще точно не определен, но близок к 0.3 мг; для определения чувствительности служит гирька, вес которой = 1.00911 мг; поправка на объем вытесненного воздуха $(V_A - V_B)$ $e = -0.0317$ мг в оба дня одна и та же.

	l_1	l_2	l_3	l_4	Равновесие
3 июня от 11 ч. 55 м. до 12 ч. 54 м. Ф. П. Завадский (лист № 111):					
1) AB	90.25	111.45	90.90	110.80	101.013
2) $A\,(B + r)$	63.40	107.70	64.60	106.25	85.819
3) AB	95.65	105.65	95.95	105.40	100.731
4) BA	98.00	106.55	98.35	106.25	102.369
5) AB	83.95	118.30	84.90	117.30	101.356
6) BA	97.90	106.05	98.15	105.80	102.038
7) AB	88.40	114.15	89.10	113.40	101.444

	l_1	l_2	l_3	l_4	Равновесие
От 12 ч. 55 м. до 1 ч. 45 м. наблюдает В. Д. Сапожников (записной лист № 112):					
8) *AB*	97.00	105.05	97.15	104.90	101.062
9) *BA*	98.90	105.70	99.00	105.40	102.300
10) *AB*	98.90	104.35	99.00	104.20	101.644
11) *BA*	98.75	105.15	98.95	105.00	102.006
12) *AB*	96.55	106.40	96.80	106.20	101.544
13) *A* (*B* + *r*)	69.30	102.95	70.20	102.00	86.344
14) *AB*	96.30	106.50	96.70	106.20	106.512

Из взвешиваний 1, 2 и 3 получаем число миллиграммов, отвечающее 1 делению шкалы, $n = 0.06704$ мг, а из взвешиваний 12, 13 и 14 $n = 0.06646$ мг, а потому для всего взвешивания принято среднее $n = 0.06675$ мг. Взвешивания 3 и 5 дают для *AB* в среднем 101.044 деления шкалы, а взвешивание 4 дает для *BA* 102.369 деления, а потому из 3, 4 и 5 получаем

$$A - B = -0.663 \text{ div.}$$

Точно так же из 4, 5 и $6 = -0.424$ div., из 5, 6 и $7 = -0.319$ div., из 8, 9 и $10 = -0.473$ div., из 9, 10 и $11 = -0.255$, а из 10, 11 и $12 = -0.206$ div.,

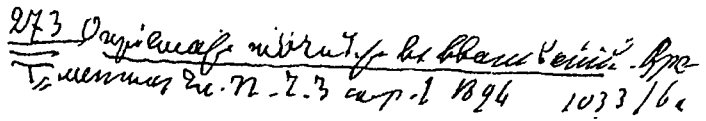
в среднем $A - B = -0.3898$ div. $= -0.0260$ мг в воздухе.

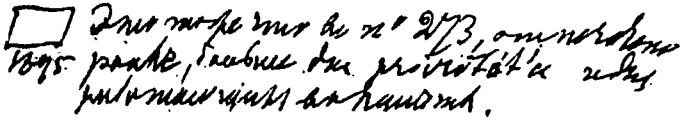
Взвешивание 7 июня дало от 11 ч. 38 м. до 12 ч. 23 м. В. Д. Сапожникову (лист № 117): 1) *AB* 100.53, 2) *BA* 102.09, 3) *AB* 101.29, 4) *BA* 101.93, 5) *AB* 101.11, 6) *A* (*B* + *r*) 86.51 и 7) *AB* 101.32. Затем Ф. П. Завадский от 12 ч. 25 м. до 1 ч. 15 м. получил: 8) *AB* 101.38, 9) *A* (*B* + *r*) 86.43, 10) *AB* 100.92, 11) *BA* 102.02, 12) *AB* 101.58, 13) *BA* 101.88 и 14) *AB* 101.01. Из 5, 6 и 7 $n = 0.06861$, а из 8, 9 и 10 $n = 0.06855$, принимаем среднее $n = 0.06858$ мг. Из 1, 2 и 3 $A - B = -0.59$, из 2, 3 и $4 = -0.36$, из 3, 4 и $5 = -0.365$ деления шкалы, из 10, 11 и 12 $A - B = -0.385$; из 11, 12 и $13 = -0.185$, из 12, 13 и $14 = -0.292$ деления шкалы, откуда в среднем: $A - B = -0.3628$ деления $= -0.0249$ мг в воздухе. Разность этого определения от предшествующего $= -0.0011$ мг.

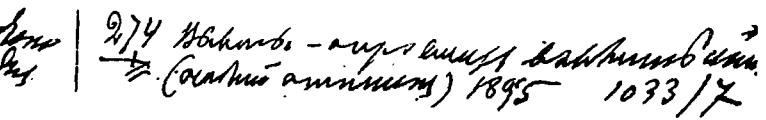
Весы Неметца дают в условиях наших наблюдений столь же согласные данные, как и весы Рупрехта. Об устройстве весов, о результатах взвешиваний, о способах взвешивания и о некоторых приемах для увеличения точности результатов взвешиваний — в дальнейших выпусках «Временника» предполагается поместить ряд отдельных статей.

Все изложенное позволяет надеяться на благоприятное окончание предпринятого возобновления русских прототипов.

21 июня 1895 г. *Д. Менделеев.*







1895 Это то же, что в n° 273, отпечатано ранее, больше для priorität'a и для работающих в Палате.

273 О приемах точных взвешиваний. Временник Гл[авной] П[алаты], ч. 3, стр. 1, 1894
1033/6a.

274 Выводы — о приемах взвешиваний (особый оттиск) 1895
1033/7.

Временник Главной палаты мер и весов, 1896, ч. 3, стр. 3—84.

О ПРИЕМАХ ТОЧНЫХ, ИЛИ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ВЗВЕШИВАНИЙ

В общежитии и технических производствах точность взвешивания редко достигает десятитысячных долей веса, так что, имея гири, выверенные в стотысячных долях обычной нагрузки, и весы, ясно показывающие такие же доли, легко получить точный вес столь простыми приемами, что искусство взвешивания не представляет никаких трудностей при современной степени совершенства выполнения выверяемых весов и гирь. При большинстве научных исследований физико-механического, химического и физиолого-биологического характера, хотя требования точности нередко возвышаются, но приемы остаются, в сущности, те же, только от гирь, которыми прямо определяют вес, требуется высшая степень выверки, а от весов — надлежащая степень чувствительности, достигаемая не только совершенством устройства самого коромысла, особенно же соответствием его веса с нагрузкою, но и ограждением весов от движений внешнего воздуха и правильным устройством приборов для арретирования качаний коромысла. Путем этим, как известно, достигается как то, что при значительных грузах определяют уже миллионные доли нагрузки, например миллиграммы при нагрузке в килограмм, так и то, что при облегченном коромысле определяются для малых нагрузок ничтожно малые разности веса, например тысячные доли миллиграмма при нагрузках около 1 грамма (это составляет опять миллионные доли нагрузки), как это давно выполняется на весах наиболее известных мастеров. Однако, так как весы составляют точнейший измерительный прибор, то во множестве задач естествознания, а особенно в метрологии, нельзя довольствоваться точностями взвешиваний, достигаемыми этими способами, необходимо или желательно достигнуть всей возможной степени точности, к какой способен этот прототип точных приборов. Так, например, точ-

нейшим образом определяя прибыль веса от приближения груза к центру земли или от притягательного действия определенных масс, можно определить размеры земли, ее плотность или напряжение тяжести (Jolly, 1881; Thiesen, 1887, и Poynting, 1893); также и основной закон сохранения вещества при акте химических изменений можно поверить или поколебать путем точнейших взвешиваний (например Ландольт, 1893). При взаимном же сличении прототипов веса и при сличении их основных копий имеют свое значение даже малейшие доли веса, чтобы избежать накопления неточностей при суммировании веса гирь при их выверке. Предметом предложенной статьи служит рассмотрение приемов взвешиваний, которыми, судя по опытам и соображениям, примененным в Главной палате мер и весов, возможно достигать наивысшей степени точности, доступной при современном устройстве весов.

В этой статье допускаются три предположения (считаю более удобным рассмотреть их в особых статьях), а именно, во-первых, предполагается, что устройство весов, удовлетворяющих точным взвешиваниям,[1] дано, во-вторых, что нагрузка постоянна,[2] и, в-третьих, предполагается, что взвешивания ведутся в воздухе и плотности взвешиваемых предметов одинаковы, что и осуществляется с большим приближением, например, при сравнении веса гирь из одинакового материала, при определении веса литра воздуха и т. п. Притом я предполагаю не прибегать к теоретическому рассмотрению равновесия и колебания весов и самых взвешиваний, а ограничиваюсь лишь практическою стороною предмета, тем

---

[1] Устройство таких весов (см.*: Временник, ч. 2, стр. 176) должно допускать производство всех операций единичного взвешивания, устраняя непосредственное приближение наблюдателя и воздействие иных источников нагревания или измененного положения влияющих масс; прежде всего предполагается далее: 1) что отсчет колебаний ведется трубою, удаленною от весов; 2) что отсчет этот производится чрез отражение шкалы в зеркале (призме), укрепленном на коромысле; 3) что арретирование производится издали от места наблюдателя; 4) что переложение грузов из AB и BA на чашках весов и 5) что прибавка добавочного груза, определяющего чувствительность, также производится издали от того места, где наблюдатель смотрит в трубу.

[2] При переменной нагрузке чувствительность заметно изменяется, что зависит прежде всего от изгибания коромысла и от перемены положения центров тяжести. Понятно, что случай переменных грузов всегда можно свести на случай постоянной нагрузки, добавляя груз до нормы, что и следует рекомендовать в лабораториях, где приходится часто взвешивать переменные грузы.

* См. стр. 200. [*Прим. ред.*].

более, что теория весов и взвешиваний отчасти разобрана с новых точек зрения Мареком и Тизеном (Travaux et Mémoires du Bureau Intern., tt. III и V, 1886), статьи которых мне придется неоднократно цитировать, тем более, что достигнутые мною выводы во многих частностях отличаются от практики, принятой в Международном бюро, где долго действовали названные ученые и где двинулись весьма значительно вперед многие стороны практики наиболее точных взвешиваний. Излагаемое мною в некоторых частностях основано на том, что сделано в Международном бюро мер и весов, но я стараюсь, по возможности, содействовать еще дальнейшим успехам точных взвешиваний, потому что питаю уверенность в возможности беспредельного их усовершенствования.

Если современная астрономия, опираясь на усовершенствования, вводимые как в измерения, производимые кругами и телескопами, так и в приемы наблюдений, выверки и расчетов, дает возможность проникать в беспредельную даль и измерять беспредельно большое и далекое, то в деле изучения видимого и доступного — основным прибором, проникающим в беспредельно малое и близкое, должно считать весы, уже давшие начало всем современным химическим знаниям, проникшим до понимания бесконечно малых величин индивидуализированных атомов, и от усовершенствования способов взвешиваний должно ждать еще много новых успехов естественной философии, особенно же выяснения хотя бы некоторых сторон всеобщего, но еще таинственного всемирного тяготения, о котором знают лишь то, что указали Галилей и Ньютон. Уже для одного того, чтобы содействовать проникновению в подробности сведений, относящихся до силы тяжести, необходимо приложить все возможные усилия к дальнейшей выработке приемов точнейших взвешиваний. А так как для их производства неизбежно необходимы сложные и многоценные приспособления, доныне применяемые лишь в главных метрологических учреждениях, то эти последние, разрабатывая способы точных взвешиваний, не только служат своим специальным целям, но и дают общий немаловажный вклад в естественную философию. Да послужит вышесказанное объяснением того, что я в своей статье вдаюсь во многие подробности лишь для того, чтобы содействовать увеличению точности взвешиваний от миллионных частей груза до миллиардных их долей. В природе — мера и вес — суть главные орудия познания, и нет столь малого, от которого не зависело бы

все крупнейшее. Мало того. Все указанное в наш век заставляет думать, что, только изучая малейшее, можно что-либо познать по отношению к конечному и крупному, как видим, начиная от абстрактных дифференциалов математики до конкретных атомов химии.

Задачи наиболее точных (доныне преимущественно метрологических) взвешиваний сводятся преимущественно к решению двух вопросов: I) как из наблюденных по шкале весов уклонов (элонгаций) нагруженного коромысла весов судить о положении его равновесия? и II) как расположить систему взвешиваний грузов A и B, чтобы узнать уравнение взвешивания, т. е. x в выражении $B = A + x$ (судя по условию, в воздухе)?

Немногие существующие ответы на эти вопросы, особенно на второй, очень разноречивы и не сводились к общим началам, а от них немало зависит как точность, так и скорость достижения результата. Строго говоря, решение обоих указанных вопросов находится в связи потому особенно, что колебания совершаются во времени, а система взвешиваний обусловливается именно теми неизбежными изменениями, которые совершаются с весами во время ряда производимых на них взвешиваний. Но изложение предмета значительно упрощается, если мы станем расследовать первый вопрос, предполагая, что во время наблюдаемых колебаний одного взвешивания состояние весов остается неизменным или изменяется лишь весьма мало. Такое предположение будет тем ближе к действительности, чем благоприятнее будет положение весов в отношении к окружающему пространству, или, говоря языком, более применяемым, чем менее будет изменяться положение нуля. Обыкновенно же, как увидим этому доказательство далее, полной неизменности весов в этом отношении не бывает, т. е. положение нуля заметно изменяется даже в продолжение нескольких колебаний одного взвешивания.

I. *Способы суждения о положении равновесия коромысла весов по наблюдению его колебаний* (то и другое по показаниям шкалы весов). Точному взвешиванию всегда предшествует предварительное или приближенное, и разность сравниваемых грузов наверстывается чрез добавку к более легкому грузу мелких гирь (гири до 0.2 мг легко готовят

из алюминиевой проволоки, более же мелкие практически не выполнимы и неудобны для применения) известного веса, так что единичное точное взвешивание всегда сводится на определение столь малой разности веса $x = A - B$, что ее нельзя представить определенными гирями. Этим точное взвешивание ясно отличается от обычного. О малой (обыкновенно менее 0.2 мг) разности веса x при точных взвешиваниях приходится судить по изменению положения равновесия коромысла весов, нагруженных грузами A и B, когда слева лежит груз A, справа B (что и означается символом AB), и при положении грузов BA. Как выводить x из знания разности равновесий L_{AB} или L_{BA}, мы будем рассматривать впоследствии, теперь же остановимся исключительно над способом вывода положений равновесия L_i, которые не достигаются в действительных наблюдениях по невозможности, ибо свободные, чувствительные весы колеблются целые часы и от малейших внешних влияний выходят из состояния равновесия, иначе весы и не пригодны для точных взвешиваний. Суждение о положении равновесия L приходится делать по наблюдениям элонгаций или крайних точек размахов качаний коромысла, производимых по шкале весов, т. е. из динамического явления должно судить о статическом.

Прежде чем говорить о способах, пригодных для точности подобного суждения, считаю необходимым заметить — без дальнейших доказательств, по причине очевидности, — что при точных взвешиваниях должно стремиться к тому, чтобы размахи коромысла были по возможности близки к положению так называемого нуля шкалы[1] и невелики (например

[1] «Нулем» шкалы весов должно, с одной стороны, считать тот ее отсчет, который отвечает равенству моментов плеч (т. е. произведений из длины на вес нагрузки), с другой стороны, тот, который соответствует равенству нагрузки на обеих чашках, и, с третьей стороны, тот, при котором коромысло (его крайние ножи или вершины призм) горизонтально. В элементарной теории весов допускается совпадение этих точек в «нуле» шкалы, в практике к этому совпадению, по возможности, приближаются, но при точных взвешиваниях никогда нельзя допустить этого совпадения. Чтобы упростить изложение, я вовсе не вхожу в теорию весов, а потому почти не говорю о «нуле» шкалы. Замечу только, что среднее из L_{AB} и L_{BA} означает положение «нуля» (оно изменчиво во времени) при равенстве грузов, определение же «нуля» горизонтальным положением коромысла условно, потому что оси (острия) крайних призм не могут быть горизонтальны, если они не вполне параллельны. Отсюда ясно, что все понятие о «нуле» шкалы условно и искусственно, а потому лучше его избегать, что и сделано мною в дальнейшем изложении.

на 20, много 30 делений шкалы, если она, как обыкновенно бывает в точных весах, такова, что каждое деление отвечает минуте дуги, например, 1 мм при радиусе около $3^1/_2$ м) и всегда отвечали небольшой части шкалы[1] и малой дуге круга.[2] Это достигается, сравнительно, легко, пользуясь двумя приемами, которые необходимо соблюдать при всех точных взвешиваниях, а именно: 1) нагрузку A и B обеих чашек должно так изменять при помощи добавочных (конечно, известных или особо определяемых) грузов, чтобы равновесие отвечало почти горизонтальному положению коромысла,[3] и 2) при опускании коромысла так действовать

[1] Та часть шкалы, которая служит для отсчетов колебаний, должна быть выверена, или калибрована, как о том говорится отчасти далее.

[2] Отсчет по шкале делается многоразлично: а) или шкала неподвижна, по ней читают положение стрелки, укрепленной на движущемся коромысле (обыкновенные весы в разных формах); б) или шкала прикреплена к коромыслу (стрелке) и движется, отсчет производится по неподвижной нити микроскопа (Глухов и другие); в) или две шкалы, укрепленные на подвесках, движутся друг около друга (в некоторых весах Роберваля); г) или изображение неподвижной вертикальной шкалы читается по нити неподвижной трубы (шкалы и трубы стоят сбоку) при помощи отражения вертикальным зеркалом, укрепленным на коромысле и к нему перпендикулярным (весы Штейнгейля и др.); д) или шкала горизонтальна (параллельна коромыслу), отсчет в трубу по зеркалу, укрепленному горизонтально на коромысле сверху, причем другое неподвижное зеркало (призма) дает возможность поместить трубу и шкалу в одном уровне с весами, а отсчет по нити в трубе (прием весов Рупрехта); е) или при всем том же устройстве другое неподвижное зеркало дает в трубу изображение неподвижной шкалы, по которому производится отсчет (весы Рупрехта в Международном бюро и в Главной палате); ж) или на коромысле укрепленные две вертикальных призмы для полного внутреннего отражения (=2 вертикальных зеркала под углом 45° к коромыслу при взаимном уклоне 90°) дают изображение двух сбоку стоящих неподвижных шкал в трубу, стоящую по оси качаний (устройство весов г-на Неметца), и т. д. Только последние способы отсчета (чрез отражение неподвижных шкал) позволяют определять очень малые уклоны, потому что дают возможность увеличивать радиус (удаление шкалы от трубы) и удваивают или учетверяют угол уклона. С своей стороны, я считаю наилучшим последний из указанных приемов (г-на Неметца), если в нем ввести небольшие улучшения (поместить отражающие призмы на продолжении центральной оси коромысла) и соблюсти с возможною точностью вертикальность осей отражающих призм. Успехи точного взвешивания много зависели от введения отсчета по отражению далеко стоящей шкалы зеркалом, что сделано, если не ошибаюсь, впервые Штейнгейлем; в 60-х годах я уже применял (в лаборатории С.-Петербургского технологического института) такой способ к отсчету весов, испытав его в первый раз у г-на Штейнгейля в Мюнхене.

[3] Положим, что горизонтальное состояние коромысла (обыкновенно, в хорошо исполненных весах, при правильной установке, оно соответствует положению арретированного коромысла) отвечает 100 делению шкалы и пусть при нагрузке AB получается равновесие при $100 + m$

арретиром, чтобы размахи качаний были по возможности малы. При больших размахах колебаний хотя чувствительность, судя по временам качаний, немного возрастает,[1] но точный отсчет элонгаций затрудняется (от быстроты углового движения коромысла и изображения шкалы) и убыль элонгаций возрастает, а потому суждение о равновесии становится менее точным.

делений. Добавляя к A (или B) мелкие миллиграммовые гири или их доли q (их легче всего изготовлять из тонкой алюминиевой проволоки) известного веса, легко достичь того, чтобы равновесие $(A + q)$ B отвечало делению, близкому к 100. Очевидно, что для такого способа действия необходимо: 1) чтобы весы были заранее уравновешены до того, чтобы нуль (равенство грузов A с B) был близок к 100 делению; 2) чтобы чувствительность весов (соответствие между m делений и q миллиграммов) была приблизительно известна и не очень велика и 3) чтобы мелкие гири (в миллиграммы и их десятые) были особо тщательно (на соответственных весах) предварительно изучены.

[1] В статье д-ра M. Thiesen (Travaux et Mémoires, t. V, 1886, Etudes sur la balance) приведены ряды наблюдений, произведенных M. Zwinck в Kaiserliche Normal Aichungs-Kommission на весах Schickert'a (нагрузка до 120 г), над изменением времен качаний при разных нагрузках и размахах.

Из этих наблюдений видно, что при данной нагрузке времена эти убывают по мере убыли элонгаций. Например, при нагрузке 100 г (ряд 3):

Порядок качаний	Средняя величина размаха	Время прохождения чрез равновесие, в секундах	Средняя длительность одного размаха, в секундах
От 1 до 10	12.64 div.	От 54.53 до 292.37	26.427
» 17 » 26	7.78 »	» 476.24 » 712.29	26.228
» 33 » 42	4.90 »	» 895.45 » 1130.38	26.103
» 49 » 58	3.09 »	» 1312.49 » 1547.32	26.092

Для тех же весов, без нагрузки, с одними чашками (ряд 9):

От 1 до 11	12.28 div.	От 33.25 до 223.46	19.021
» 12 » 22	8.00 »	» 242.34 » 431.40	18.906
» 23 » 33	5.26 »	» 450.44 » 639.16	18.872
» 34 » 44	3.60 »	» 657.96 » 845.68	18.772
» 47 » 56	2.20 »	» 883.91 » 1069.50	18.559

К величайшему сожалению, эти, как и многие им подобные наблюдения, содержащиеся в статье д-ра Thiesen, при всем интересе их постановки, не могут быть считаемы удовлетворяющими первичным требованиям, предъявляемым ныне к точным взвешиваниям, так как чувствительность весов, взятых для наблюдений, была невелика (1 div. = 0.50 мг в 3-м ряде и = 0.42 мг в 9-м ряде) и, что всего важнее, при наблюдениях, несомненно, происходили значительные изменения в состоянии весов, как видно из того, что положение равновесия сильно изменялось. Так, напри-

Для суждения о показании шкалы L, отвечающем равновесию, при точных взвешиваниях с давних пор исключительно прибегают к наблюдению элонгаций l_1, l_2, ... l_n, т. е. показаний шкалы, отвечающих крайним точкам размахов, или тех, при которых коромысло останавливается, чтобы начать обратное колебание. Очевидно, что равновесие L отвечает некоторому среднему показанию между двумя соседними элонгациями l_n и l_{n+1}. Поэтому ближайший вопрос сводится на то: как судить о равновесии L по наблюденным элонгациям l_1, l_2, l_3 ... l_n и какое число n этих элонгаций избирать для возможно точного определения L?

Ответы, даваемые в этих отношениях, довольно разноречивы. В обыденной лабораторной практике очень часто берут лишь два отсчета, l_1 и l_2, и принимают среднее, т. е.

$$L = \frac{1}{2}(l_1 + l_2).$$

Для точных взвешиваний это пригодно, очевидно, лишь тогда, когда размахи очень малы и точность отсчета элонгаций Δ не превосходит разности двух повторенных элонгаций одного знака, т. е. когда разность $l_1 - l_3 = \Delta$, потому что тогда в пределе точности отсчетов можно принять

$$l_1 + l_2 = l_2 + l_3.$$

Но и при этом очевидно, что суждение об L должно основать не менее как на трех элонгациях l_1, l_2, l_3, а при этом L должно принять равным среднему из $\frac{1}{2}(l_1 + l_2)$ и $\frac{1}{2}(l_2 + l_3)$, т. е.

$$L = \frac{1}{4}(l_1 + 2l_2 + l_3). \qquad (I)$$

Первый способ расчета равновесия применялся чрезвычайно часто в прежних метрологических определениях, например в исследованиях Купфера, относящихся к установлению русских единиц мер и веса (Travaux de la Com-

---

мер, в 3-м ряде первые три наблюдения дают равновесие при —1.477 div., а три последние при —1.375 div. (в промежуточных есть и —1.53 div.), а такая разность соответствует 0.051 мг, что при нагрузке в 100 г представляет уже погрешность, много превосходящую ту, которую можно допускать при современных точных взвешиваниях. Тем не менее из этих определений очевидно, что с уменьшением амплитуды колебаний времена их, а следовательно, вероятно, и чувствительность, немного убывают.

mission pour fixer les mesures et les poids de l'Empire de Russie, A. T. Kupffer, tt. I и II, 1841), а в первых килограммовых взвешиваний, произведенных г-ном Мареком в Международном бюро (Travaux et Mémoires du Bureau International der Poids et Mesures, t. III, 1884), расчет производился по формуле (I) из 3 элонгаций. Однако ныне, как давно делается в английском Standards Department, чаще всего применяется вывод равновесия из наблюдения 4 элонгаций, выводя из двух соседних средних вновь средние, т. е.

$$L = \frac{1}{8}(l_1 + 3l_2 + 3l_3 + l_4). \qquad (II)$$

Этой же формулы придерживался и д-р Thiesen при окончательных сличениях международных килограммов в 1886—1888 гг. (Travaux et Mémoires, t. VIII, 1893). Она же ныне чаще всего применяется и в Главной палате, потому что, при малых размахах $(l_n - l_{n+1})$, какие (см. выше) мы ныне всегда применяем, удовлетворяет в достаточной мере, как далее будет показано, трем основным требованиям: 1) быстроте определений, 2) точности вывода L и 3) сглаживанию неизбежных погрешностей единичных отсчетов l_n.

До сих пор, т. е. до 4 наблюдений, способы вывода разных исследователей между собою довольно согласны, потому что совершенно естественны и практически очень просто выполнимы. Но при наблюдении 5 и более размахов разности способов вывода уже весьма явны. Например, для 5 элонгаций принимают или

$$L = \frac{1}{8}(l_1 + 2l_2 + 2l_3 + 2l_4 + l_5),$$

или

$$L = \frac{1}{12}(2l_1 + 3l_2 + 2l_3 + 3l_4 + 2l_5),$$

или

$$L = \frac{1}{12}(l_1 + 3l_2 + 4l_3 + 3l_4 + l_5),$$

или

$$L = \frac{1}{16}(l_1 + 4l_2 + 6l_3 + 4l_4 + l_5).$$

Последнее из этих выражений соответствует тому общему приему — вывода средних из двух соседних, — который при-

менен в (I) и (II) формулах и выражается в общей формуле, относящейся к n элонгациям,

$$L=\frac{1}{2^{n-1}}\left[l_1+\frac{n-1}{1}l_2+\frac{(n-1)(n-2)}{1\cdot 2}l_3+\right.$$
$$\left.+\frac{(n-1)(n-2)(n-3)}{1\cdot 2\cdot 3}l_4+\ldots+\frac{n-1}{1}l_{n-1}+l_n\right]. \qquad \text{(III)}$$

Например, при наблюдении 10 элонгаций ($n=10$)

$$L=\frac{1}{512}(l_1+9l_2+36l_3+84l_4+126l_5+126l_6+84l_7+$$
$$+36l_8+9l_9+l_{10}),$$

что высчитывается очень просто, беря лишь средние из всех соседних данных и продолжая то же действие вновь с полученными средними. Например, пусть дано 10 элонгаций:

l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	l_6	l_7	l_8	l_9	l_{10}
98.0	79.0	96.1	80.7	94.6	82.1	93.3	83.2	92.3	84.2

Отсюда получаем 9 средних:

88.50 87.55 88.40 87.65 88.35 87.70 88.25 87.75 88.25

Из них последовательно получаются средние:

88.025, 87.975, 88.025, 88.000, 88.025, 87.975, 88.000, 88.000
88.000, 88.000, 88.012, 88.013, 88.000, 87.988, 88.000
88.000, 88.006, 88.012, 88.007, 87.994, 87.994
88.003, 88.009, 88.009, 88.001, 87.994
88.006, 88.009, 88.005, 87.997
88.007, 88.007, 88.001
88.007, 88.004
88.005

Последнее среднее выражает вероятное положение равновесия по (III), т. е. $L=88.005$,[1] отвечающее среднему вре-

[1] Thiesen (l. c.) принимает иные формулы, например для 10 элонгаций

$$L=\frac{1}{24}(2l_1+3l_2+2l_3+3l_4+2l_5+2l_6+3l_7+2l_8+3l_9+2l_{10}).$$

Формула эта в вышеприведенном примере дает $L=88.012$. Разность от вышеприведенного вывода, конечно, ниже возможной погрешности единичного отсчета, которая не менее ± 0.05, если отсчитываются десятые доли делений, но для среднего вывода из 10 колебаний надо признать разность 88.005—88.012 имеющей уже реальное значение, потому что погрешность отсчетов при их повторении в среднем выводе должна почти уничтожаться.

мени наблюдений, т. е. времени, среднему между отвечающим l_5 и l_6. Если к этим двум прибавим еще l_4 и l_7, то по формуле (II) получим 88.013. Очевидно, что в выводе, каким бы способом мы его ни произвели, могут участвовать средние погрешности отсчетов $\pm\Delta$. Для возможного их уменьшения полезно увеличивать число отсчетов, потому что тогда в среднем положительные погрешности уничтожатся на счет отрицательных. Но, с другой стороны, так как опыт показывает, что «состояние» весов, т. е. положение нуля (отвечающего равенству моментов обоих плеч коромысла или, при одинаковой длине плеч — равенству нагрузок), хотя мало, но постоянно изменяется, то в системе взвешиваний должно, по возможности, сокращать время отдельного взвешивания, т. е. уменьшать число наблюдаемых колебаний. Для того, чтобы сознательно избрать определенное число наблюдаемых элонгаций (колебаний) l и способ вывода из них показания шкалы L, отвечающего равновесию, считаю необходимым остановиться над эмпирическим законом *убыли размахов*.

Из большого опытного материала, собранного при взвешиваниях, производимых в Главной палате, и публикованного Международным бюро мер и весов, я избрал немалое количество данных, в которых наблюдались при данной нагрузке колебания определенных весов и замечалось значительное постоянство «состояния» весов, т. е. сохранялось одно и то же равновесие. Не все и не всякие наблюдения колебаний коромысла весов могли быть сюда отнесены. Очень часто наблюдения ведутся при условиях большого изменения «состояния» весов, т. е. в то время, когда моменты плеч изменяются, например, одно из плечей коромысла, под влиянием окружающих условий, изменяет свою длину иначе, чем другое плечо, или воздух, окружающий грузы и плечи коромысла, не находится в полном равновесии и т. п. Такое состояние весов узнается тем, что при тех же грузах положение равновесия тогда изменяется с течением времени. Чтобы показать пример такого изменчивого состояния весов, беру данные из числа тех, которые собрал д-р Thiesen в своих «Etudes sur la balance» (Travaux et Mémoires, t. V, 1886), наблюдая по 10 элонгаций на разных весах при определенной их нагрузке именно для цели изучения весов и их колебаний, считаемых им за нормальные. Из совокупности этих многочисленных данных (Observations, стр. III—XV) видно, что почти всегда при этом весы, бывшие у Тизена, сильно изменялись, как видно

из перемены положения равновесия. Например, для весов Sacré № 1 при нагрузке в 1 кг, когда 1 деление шкалы отвечало 0.52 мг, 2 августа 1883 г. (Pesée n° 6, стр. IX—X), сделано было 60 отсчетов колебаний, расположенных по 10 в 6 рядах, которые дали д-ру Thiesen'у следующие положения равновесия:

1) 57.367, 2) 65.751, 3) 56.517, 4) 55.960,
5) 65.360 и 6) 58.927.

Очевидно, что во все время с весами происходили какие-либо изменения, ведущие к тому, что положение равновесия изменялось. Можно было бы, однако, думать, что перемены эти происходили только при переходе одного ряда к другому и определялись арретированием, производимым между рядами, после наблюдения 10 элонгаций, а во время этих 10 элонгаций «состояние» весов сохранялось. Но и эта гипотеза, при ближайшем рассмотрении данных, оказывается недопустимою, так как можно доказать, что в продолжение наблюдения 10 элонгаций все время равновесие изменялось. Для примера избираю 2-й ряд, для которого д-р Thiesen расчел $L = 65.751$ div. Для него наблюдение дало следующие 10 элонгаций:

l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	l_6	l_7	l_8	l_9	l_{10}
76.70	55.12	75.96	55.92	75.25	56.42	74.90	56.94	74.30	и 57.38.

Из l_1, l_2, l_3 по формуле (I) рассчитываем L. Оно по времени отметит l_2, а потому означим его L_2. Точно так же L_3 разочтем из l_2, l_3, l_4 и т. д.:

L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8	L_9
65.725	65.740	65.762	65.710	65.747	65.790	65.770	65.730.

Получившиеся здесь различия вычисляемых равновесий L_i никоим образом не могут быть приписаны случайным погрешностям наблюдений (отсчетов) или неточности формулы I, потому что значения L_i совершенно правильно, хотя и медленно, возрастают от L_2 до L_4, а от L_7 до L_9 быстро падают, что и показывает непостоянство «состояния» весов в продолжение 10 наблюденных элонгаций.[1] Случайно

[1] Если обратить внимание на то, что в ряде 1-м получилось $L = 57.367$, а в ряде 3-м $L = 56.517$, то станет очевидным, что в продолжении совокупности рядов 1, 2 и 3 происходили постоянные и довольно правильные изменения в «состоянии» весов и что в рядах 4, 5 и 6 повторилось подобное же явление.

взятый мною пример не относится к числу таких, где изменения значительны и явны, даже наоборот, обыкновенно изменения очевиднее. Так, последнее (l. c., стр. XV) из наблюдений д-ра Thiesen'a, сделанное с весами Bunge, при нагрузке 1 кг, когда 1 div. = 0.017 мг, дало (6 октября 1883):

l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	l_6	l_7	l_8	l_9	l_{10}
243.90	206.96	240.88	210.08	238.16	212.58	236.14	214.42	234.73	216.10.

А отсюда, введя поправку, о которой говорится далее, получаем:

L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8	L_9
224.394	224.738	224.766	224.769	224.842	224.839	224.916	225.103.

Здесь положение равновесия явно возрастает, и всякие выводы из подобных наблюдений, относящиеся к вычислению равновесия и к законам изменения колебаний, очевидно, мало могут содействовать нахождению действительной законности, если не принять во внимание изменений, совершающихся с весами во времени. (Об этих изменениях говорим далее подробно).

Следовательно, для вывода истинного закона, управляющего колебаниями весов, могут быть применяемы только такие наблюдения, при которых положение равновесия, отвечающее данной нагрузке, остается, по возможности, постоянным в пределе точности отсчетов. Подобные наблюдения, судя по опытам Главной палаты, встречаются вообще редко и только тогда, когда весы тщательно обеспечены от изменения посторонних внешних (преимущественно температурных) влияний, к числу которых, несомненно, относятся не только приближение наблюдателя, но и действие того малого количества тепла, которое испускают удаленные от весов электрические лампочки накаливания, применяемые для освещения шкалы, не говоря уже о влиянии неравномерного общего освещения или неравномерно нагретых стен комнаты, в которой помещаются весы. Чтобы уяснить себе значение подобных столь малых влияний, достаточно обратить внимание на то, что вышеупомянутые непостоянства равновесий отвечают при грузе 1 кг (= = 1 млн мг) разностям веса лишь до 0.03 мг, а если представим, что одно из плеч коромысла во время наблюдения нагреется лишь на 0.002° более, чем другое плечо, то уже (считая коэффициент линейного расширения коромысла = = 0.000018) получится разность веса, достигающая до 0.036 мг.

Такие взвешивания, при которых перемены в равновесии не больше, чем возможные погрешности (степень точности) отсчетов, я избрал преимущественно из новых (1895) взвешиваний, совершенных Ф. П. Завадским и В. Д. Сапожниковым на весах Неметца и Рупрехта в Главной палате (см.*: Временник, ч. 2, стр. 176).[1] Так как при отсчете показаний шкалы десятые и сотые одного деления определялись наглаз, то в единичных отсчетах можно допускать погрешность ± 0.2 деления шкалы. А так как для вывода равновесия служило 4 или 5 отсчетов, то в выводе могла накопляться погрешность до ± 1 деления, следовательно при повторении того же взвешивания могли скопляться разности от среднего ± 1 деление, а между наибольшими и наименьшими выводами до ± 2 деления.[2] Только такие наблюдения и избраны мною для нахождения закона изменения колебаний. Для примера привожу (листы 27 и 28, от 18 апреля 1895 г.) сличение фунтов, произведенное при изготовлении прототипов; весы Неметца, нагрузка (около) 409.5 г, 1 деление шкалы отвечает 0.031 мг, температура (18.32°), влажность и барометр во все время взвешивания постоянны, — время от 11 час. 51 мин. до 12 час. 56 мин. Элонгаций наблюдалось 5, вывод L по III:

	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	Равновесие	Нагрузки[3]
1)	121.0	190.1	124.0	186.5	126.8	$L = 156.14$	AB
2)	182.6	195.6	183.0	195.0	183.6	189.16	$A\,(B+r)$
3)	120.4	190.8	123.6	187.0	126.5	156.23	AB
4)	96.0	189.1	100.6	184.2	104.3	143.57	BA
5)	120.6	191.0	123.8	187.4	126.5	156.53	AB
6)	61.7	184.6	67.7	177.7	73.0	124.38	$(A+r_1)\ B$
7)	117.3	193.4	120.7	189.6	123.7	156.08	AB
8)	198.8	115.7	194.5	118.9	190.9	$L = 155.94$	AB
9)	202.4	176.2	201.1	177.3	200.0	188.94	$A\,(B+r)$
10)	191.7	123.3	188.0	125.9	185.1	156.35	AB
11)	189.3	100.3	184.4	103.9	180.4	143.31	BA

[1] Но и из этих определений далеко не все отличаются одинаковою степенью согласия повторенных данных; я отобрал лишь половину наиболее благоприятных наблюдений и из нее брал затем те, которые попадали под руку — без подбора.

[2] Погрешности этого рода при получении окончательного вывода взвешиваний, без всякого сомнения, почти вполне взаимно уничтожаются, как видно уже из того, что 1 деление шкалы отвечает примерно 0.03 мг, а результаты взвешиваний обыкновенно отличаются менее, чем на ± 0.004 мг.

[3] Способ означения нагрузки тот же, как «Временник», ч. 2, стр. 175:** $r = 1.02171$ мг, $r_1 = 1.00911$ мг.

* См. стр. 201. [*Прим. ред.*]

** См. стр. 199. [*Прим. ред.*].

12)	193.5	118.8	189.6	121.8	186.4	154.99	AB
13)	187.0	62.6	179.8	67.9	174.0	122.61	$(A+r_1)B$
14)	191.7	120.0	187.9	123.0	184.8	154.74	AB

Семь первых отсчетов сделаны В. Д. Сапожниковым, остальные Ф. П. Завадским. Здесь взвешивание AB повторено 8 раз, среднее 155.875, maximum (5-е взвешивание) разнится от minimum (14-е взвешивание) на 1.79 деления, взвешивание BA повторено 2 раза, разность 0.26 деления, $A(B+r)$ — тоже 2 раза, разность 0.22 деления также $(A+r_1)B$ 2 раза и разность 1.77 деления. Средняя разность при повторении взвешивания менее ± 0.311 деления, а потому можно считать, что здесь достигнуто возможное постоянство результата.[1]

Отобрав 10 подобных предшествующему взвешиваний между многими, произведенными Ф. П. Завадским и В. Д. Сапожниковым, я применил их к разысканию опытного закона убыли размахов. При этом я остановился на следующем рассуждении.

Назовем размахом разность двух друг за другом следующих отсчетов шкалы: $l_n - l_{n+1}$, если l_n более l_{n+1}, или $l_{n+2} - l_{n+1}$, если l_{n+2} более l_{n+1}. Следовательно, размах есть величина положительная. От сопротивлений (среды и трения) размахи убывают, т. е. размах $l_n - l_{n+1}$ более следующего за ним размаха $l_{n+2} - l_{n+1}$. Желательно было найти закон этой убыли, которая подобна декременту при качаниях маятника. Поэтому первая простейшая гипотеза, которую я испытал для выражения убыли размахов, состояла в допущении того, что отношение соседних размахов, $l_n - l_{n+1}$ и $l_{n+2} - l_{n+1}$, есть величина постоянная,[2] которую назовем чрез C, т. е.

$$C = \frac{l_n - l_{n+1}}{l_{n+2} - l_{n+1}}, \qquad \text{(IV)}$$

а так как размахи убывают, то C должно быть более единицы. Если возьмем 1-е взвешивание, то ему отвечают размахи:

---

[1] Тем не менее изменения по времени замечаются и при пользовании взвешиваниями подобного рода; для окончательного вывода должно ввести поправку на время, о чем речь идет далее.

[2] Конечно: 1) в пределах точности отсчетов и 2) при данном условии взвешиваний, т. е. для определенных весов, данной нагрузки и известного состояния атмосферы или среды, в которой происходит взвешивание.

l_2-l_1	l_2-l_3	l_4-l_3	l_4-l_5
69.1	66.1	62.5	59.7
$C_1=$ 1.045	1.058	1.047.	

Среднее $C_1=1.050$. Точно так же найдем для каждого взвешивания, отвечающего положению AB:

Размахи:	(1)	(2)	(3)	(4)	(1)/(2)	(2)/(3)	(3)/(4)	Среднее C
1)	69.1	66.1	62.5	59.7	1.045	1.058	1.047	1.050
3)	70.4	67.2	63.4	60.5	1.048	1.060	1.048	1.052
5)	70.4	67.2	63.6	60.9	1.048	1.057	1.044	1.050
7)	76.1	72.7	68.9	65.9	1.047	1.055	1.046	1.049
8)	83.1	78.8	75.6	72.0	1.055	1.042	1.050	1.049
10)	68.4	64.7	62.1	59.2	1.057	1.042	1.049	1.049
12)	74.7	70.8	67.8	64.6	1.055	1.044	1.049	1.049
14)	71.7	67.9	64.9	61.8	1.056	1.046	1.050	1.051
			Среднее . .		1.0514	1.0505	1.0479[1]	1.050

При этом среднее положение равновесия $L=155.88$.

Точно так же находим C из данных для нагрузки BA, когда $L=143.44$:

4)	93.1	88.5	83.6	79.9	1.052	1.059	1.046	1.052
11)	89.0	84.1	80.5	76.5	1.058	1.045	1.052	1.052

$C=1.052$

Также для нагрузки $A(B+r)$, когда $L=189.05$:

2)	13.0	12.6	12.0	11.4	1.032	1.050	1.053	1.045
9)	26.2	24.9	23.8	22.7	1.052	1.046	1.048	1.049

$C=1.047$

[1] Хотя средние C не различаются между собою более, чем на величины, зависящие от погрешностей отсчета, тем не менее явно замечается, что в первых 4 выводах (наблюдения Сапожникова) среднее C более крайних, а в последних четырех (взвешивания Завадского) — наоборот. Это согласуется с тем, что в первых четырех отсчеты начинаются с малой элонгации, $l_2>l_1$, а в 4 последних с больших элонгаций $l_1>l_2$. Ныне я не считаю надобным останавливаться над этим обстоятельством, но впоследствии к нему предполагаю возвратиться, так как здесь играет роль относительное положение шкалы.

Для нагрузки же $(A+r_1)B$, когда $L=123.50$:

6)	122.9	116.9	110.0	104.7	1.051	1.063	1.051	1.055
13)	124.4	117.2	111.9	106.1[1]	1.061	1.047	1.055	1.054

$C=1.055$

Хотя среднее из 6 последних взвешиваний дает $C=1.051$, т. е. то же почти, что и остальные 8 взвешиваний, но, однако, несомненно, что в каждой из рассмотренных групп взвешиваний получается свое значение C и оно при взвешивании $A(B+r)$, несомненно, меньше, чем при навеске $(A+r_1)B$. А так как вес груза во всех взвешиваниях оставался почти тот же, то нельзя полагать, что величина C зависит здесь от груза. Можно же предполагать, что она изменяется или вместе с величиною размаха, или с переменою положения равновесия. Для того, чтобы видеть, в чем здесь дело, достаточно следующей сводки:

Нагрузка чашек	Средняя величина первого размаха, в делениях	Равновесие, среднее L	Среднее значение C
$A(B+r)$	19.6	189.05	1.047
AB	74.0	155.88	1.050
BA	91.1	143.44	1.052
$(A+r_1)B$	123.7	123.50	1.055

Из этого сопоставления оказывается, что C возрастает вместе с возрастанием размаха и в то же время с уменьшением показания шкалы L, отвечающего равновесию. Ту и другую зависимость можно объяснить. Так, с увеличением размахов возрастает линейная скорость движущихся вверх и вниз чашек, а от этого возрастает сопротивление, т. е. происходит большая потеря живой силы (она распределяется в окружающее пространство), а от этого убыль размахов или C должна возрастать, а потому весьма вероятно, что C возрастает с возрастанием величины размахов; но когда наблюдают лишь малые размахи, тогда этот род неравенств должен вполне сглаживаться и впадать

[1] Столь большие, как здесь, размахи ныне уже, по возможности, устраняются при взвешиваниях, производимых в Главной палате.

в число погрешностей отсчета. Что же касается до изменения C с переменою L, то оно может обусловливаться таким положением шкалы, что равным угловым отклонениям коромысла будут отвечать в обе стороны — от средины — неодинаковые отсчеты шкалы.[1] Но сверх всего величина C должна изменяться от ошибок, неизбежных в отсчете шкалы, тем более, что наблюдатель должен уловить момент и место элонгации и наглаз подразделить деления шкалы. Заметим далее, что, так как при взвешиваниях AB первый размах изменялся от 68.4 до 83.1 деления, а при таком изменении вовсе не видно соответственных изменений в C, то зависимость C от величины размаха представляется совпадающей с неизбежными погрешностями отсчета. В этом убеждают и многие другие сличения, подобные предыдущим, разобранные мною отдельно. Для примера привожу величины размахов, полученных при такой же системе взвешиваний, как предшествующие (те же наблюдатели и весы, взвешивались подобные же фунтовые гири, листы 45 и 46, наблюдения 24 апреля 1895 г.), только размахи были гораздо меньше, как то достигается[2] во всех новых взвешиваниях Главной палаты.

Взвешивания AB, среднее равновесие $L = 212.36$ деления:

Размахи:	(1)	(2)	(3)	(4)	(1)/(2)	(2)/(3)	(3)/(4)	Среднее C
1)	24.0	22.9	21.5	20.5	1.049	1.065	1.049	1.054
3)	38.1	35.8	35.1	33.5	1.064	1.020	1.048	1.044
5)	29.5	28.1	26.9	25.6	1.050	1.045	1.051	1.049
7)	27.8	26.4	25.0	23.9	1.053	1.056	1.046	1.052
8)	38.7	36.9	35.0	33.4	1.049	1.054	1.048	1.050
10)	26.8	25.4	24.1	23.0	1.055	1.054	1.048	1.052
12)	32.5	30.9	29.4	28.0	1.052	1.051	1.050	1.051
14)	22.6	21.5	20.4	19.4	1.051	1.054	1.051	1.052
Среднее	30.0							Среднее . . 1.050[3]

[1] В установке шкалы весов Неметца это, несомненно, существовало в апреле—июле 1895 г., затем устранено более точною установкою шкалы и отражающих призм.

[2] Это достигается не только особо осторожным арретированием, но и соответственным изменением как нагрузок, так и веса чашек при непременном условии хорошего центрирования грузов на чашках, устраняющего возможность самостоятельных колебаний чашек, что всегда должно и может быть достигаемо.

[3] Здесь значения C гораздо изменчивее, чем в вышеразобранном примере, что вполне объясняется тем, что здесь размахи меньше, а следовательно, погрешность отсчетов более влияет на величину размахов и на C.

При нагрузке BA, когда $L = 190.90$, получено:

Размахи:	(1)	(2)	(3)	(4)	(1)/(2)	(2)/(3)	(3)/(4)	Среднее C
4)	28.8	27.4	25.8	24.7	1.051	1.062	1.045	1.053
11)	12.9	12.6	11.9	11.5	1.024	1.059	1.035	1.039
Среднее	20.8						Среднее . .	1.046

При нагрузке $A(B+r)$, когда $L = 243.16$:

2)	75.3	71.7	67.8	64.8	1.050	1.058	1.046	1.051
9)	75.3	71.7	68.0	64.8	1.050	1.054	1.049	1.051
Среднее	75.3						Среднее . .	1.051

При нагрузке $(A+r_1)B$, когда $L = 182.55$:

6)	27.8	25.4	25.0	23.9	1.094	1.016	1.046	1.052
13)	35.7	34.0	32.1	30.6	1.050	1.059	1.049	1.053
Среднее	31.7						Среднее . .	1.052

Сводя средние, получаем:

Навески	Первый размах, в делениях	L	C
BA	20.8	190.90	1.046
AB	30.0	212.36	1.050
$A(B+r)$	75.3	243.16	1.051
$(A+r_1)B$	31.7	182.55	1.052

Здесь видно, что возрастание C лишь слабо зависит от возрастания размахов и от уменьшения L, следовательно, изменения C преимущественно определяются неизбежными погрешностями отсчетов, а потому величину C можно принять в первом приближении за постоянную, в нашем случае равную 1.05 для обеих систем взвешиваний и при всяких величинах размахов на весах Неметца, при грузе 410 г. Вывод этот оправдывается, в пределе точности опыта, над всем имеющимся у меня материалом точных взвешиваний.[1] По-

[1] Те небольшие отступления, которые замечаются при разборе данных, особенно полученных на весах Неметца при больших размахах и при разных L, зависят, надо полагать, исключительно от неправильного положения шкалы и отражающих призм. При малых размахах коромысла неправильности эти не имеют реального значения. Но, говоря вообще,

этому можно считать доказанным, по опытам Главной палаты, что *отношение следующих друг за другом размахов* коромысла весов, или отношение $\frac{l_n - l_{n+1}}{l_{n+2} - l_{n+1}}$, в пределе точности отсчетов, *есть величина постоянная*, при данной нагрузке и прочих тех же условиях взвешивания. Для суждения о том, как изменяется C при переходе от одних весов к другим,[1] я беру то полное взвешивание на весах Рупрехта, которое приведено во 2-й части «Временника» (стр. 185),* тем более, что при нем нагрузка (1 фунт = 409.5 г) та же, что и при взвешиваниях, рассмотренных выше. Так как показания шкалы (наблюдалось всего по 4 элонгации) и равновесия для этого взвешивания даны (l. c.), то прямо переходим к расчету размахов и C. При взвешивании AB, когда среднее $L = 101.28$ деления, получается:[2]

Размахи:	$l_2 - l_1$	$l_2 - l_3$	$l_4 - l_3$	$\frac{l_1 - l_2}{l_3 - l_2}$	$\frac{l_2 - l_3}{l_4 - l_3}$	Среднее C
1)	21.20	20.55	19.90	1.0316	1.0327	1.0321
3)	10.00	9.70	9.45	1.0309	1.0265	1.0287
5)	34.35	33.40	32.40	1.0285	1.0309	1.0297
7)	25.75	25.05	24.30	1.0279	1.0309	1.0294
8)	8.05	7.90	7.75	1.0190	1.0193	1.0192
10)	5.45	5.35	5.20	1.0187	1.0289	1.0238
12)	9.85	9.60	9.40	1.0260	1.0212	1.0236
14)	10.20	9.80	9.50	1.0408	1.0316	1.0362
	15.6				Среднее	1.0278[3]

при точных взвешиваниях необходимо обращать большое внимание на точную установку шкалы, отражающих призм или зеркал и отсчетной трубы.

[1] При более полном изучении колебаний весов, прежде всего следует перевести показания шкалы в угловые уклонения (или их тригонометрические функции), изучить изменение C при перемене нагрузок, при различных расстояниях центра тяжести от оси вращения и т. п., но это специальное изучение не входит в предмет нашей статьи.

[2] Показания шкалы этих весов, так же как и весов Неметца, отсчитываются в трубу и десятые определяются только наглаз, а потому все размахи здесь очень малы и погрешность отсчета едва ли в среднем менее 0.1 деления. Если же так, то в C можно ждать уже погрешности (когда размах = 10 делениям) до ± 0.01. Она и выходит около того.

[3] Для 3, 8, 10 взвешиваний, при которых получены наименьшие размахи, среднее $C = 1.0208$, для 5 и 7 взвешиваний, когда размахи были наибольшие, среднее $C = 1.0304$, так что здесь с увеличением размаха C увеличивается, но разности близки к погрешности отсчетов.

* См. стр. 212. [*Прим. ред.*].

При взвешивании BA, когда среднее $L = 102.17$, получено:

Размахи:	$l_3 - l_1$	$l_2 - l_3$	$l_4 - l_3$	$\frac{l_1 - l_2}{l_3 - l_2}$	$\frac{l_2 - l_3}{l_4 - l_3}$	Среднее C
4)	8.55	8.20	7.90	1.0427	1.0379	1.0403
6)	8.15	7.90	7.65	1.0316	1.0326	1.0321
9)	6.80	6.70	6.40	1.0149	1.0469	1.0309
11)	6.40	6.20	6.05	1.0323	1.0248	1.0285
	7.5			Среднее		1.0330

Для нагрузки $A(B+r)$, когда $L = 86.08$, получается:

12)	44.30	43.10	41.65	1.0278	1.0438	1.0358
13)	33.65	32.75	31.80	1.0275	1.0299	1.0287
	37.0			Среднее		1.0323 [1]

Общее среднее C здесь близко к 1.030, т. е. явно меньше, чем для весов Неметца. Это различие определяется,[2] без всякого сомнения, отчасти тем, что в весах Рупрехта чашки гораздо меньше (около 50 см^2), чем в весах Неметца (плоскость чашек около 69 см^2), а потому сопротивление воздуха в этих последних больше и в каждом колебании должна погашаться большая доля живой силы. Таким образом, прямо из наблюдений, как и a priori, видно, что величина C, оставаясь почти постоянною при перемене размахов для данных весов и нагрузок, изменяется при переходе к другим весам. Но прежде чем идти далее, т. е. воспользоваться постоянством C для расчета равновесий, считаю полезным показать, насколько при данных весах изменяется C с переменою нагрузки. Для этого прежде всего воспользуемся данными из подробного отчета M-r Zwink (Travaux et Mémoires, 1886, t. V, Observations, стр. XVI—XXIII) о наблюдении колебаний весов Schikert'a при разных нагрузках, но избираем по 5 элонгаций лишь из тех колебаний, при которых равновесие оставалось почти постоянным.

---

[1] Для общих средних здесь, вероятно, вследствие общей незначительности размахов и большого влияния погрешностей отсчета, уже не замечается несомненной зависимости C от величины размаха, потому что при наибольшем размахе (37 делений) получилось среднее значение C.

[2] Сверх тех разностей в отношении между углами отклонений и показаниями шкалы, которые зависят от установки весов, размера и расстояний шкал и т. п. (Они в обоих весах будут даны при их описании).

1) Чашки сняты (колеблется только коромысло); а) ряд 11 (30 октября 1882 г.); среднее $L = +2.00$:

№ отсчета	6	7	8	9	10	Среднее C
Элонгации	+10.5	— 6.4	+10.3	— 6.2	+10.1	$C = 1.0121$
№ отсчета	46	47	48	49	50	
Элонгации	+ 7.7	— 3.7	+ 7.6	— 3.5	+ 7.4	$C = 1.0151$

б) То же, без чашек; ряд 12; среднее $L = +0.63$:

№ отсчета	1	2	3	4	5	
Элонгации	— 6.8	+ 7.9	— 6.5	+ 7.7	— 6.4	$C = 1.0140$
№ отсчета	43	44	45	46	47	
Элонгации	— 4.2	+ 5.4	— 4.1	+ 5.3	— 4.0	1.0106

Общее среднее $C = 1.013$

2) Чашки надеты (их вес, к сожалению, не дан), но груз не положен; а) ряд 9 (30 октября 1882 г.); среднее $L = -0.10$; 1 деление шкалы $= 0.42$ мг:

№ отсчета	9	10	11	12	13	
Элонгации	— 5.5	+ 5.1	— 5.1	+ 4.7	— 4.7	$C = 1.0408$
№ отсчета	29	30	31	32	33	
Элонгации	— 2.6	+ 2.3	— 2.4	+ 2.1	— 2.2	1.0445

Среднее $C = 1.0433$

3) Нагрузка на чашках по 20 г; а) ряд 1 (27 октября 1882 г.); среднее $L = +0.03$; 1 деление шкалы $= 0.43$ мг:

						Среднее
№ отсчета	3	4	5	6	7	
Элонгации	— 8.3	+ 8.0	— 7.6	+ 7.4	— 7.1	$C = 1.0398$
№ отсчета	18	19	20	21	22	
Элонгации	+ 4.7	— 4.6	+ 4.4	— 4.3	+ 4.1	1.0343

б) Ряд 2 (тогда же), среднее L то же:

№ отсчета	1	2	3	4	5	
Элонгации	— 8.2	+ 7.9	— 7.5	+ 7.3	— 7.0	$C = 1.0403$
№ отсчета	47	48	48	50	51	
Элонгации	— 1.6	+ 1.6	— 1.5	+ 1.5	— 1.4	1.0334

в) Ряд 8 (30 октября 1882 г.); среднее $L = +0.38$; 1 деление шкалы $= 0.43$ мг:

n° отсчета	5	6	7	8	9	Среднее
Элонгации	— 6.7	+ 7.2	— 6.2	+ 6.7	— 5.7	$C = 1.0388$
n° отсчета	51	52	53	54	55	
Элонгации	— 1.0	+ 1.7	— 0.9	+ 1.6	— 0.8	1.0401

Общее среднее $C = 1.038$

4) Нагрузка 50 г; а) ряд 5 (28 октября); среднее $L = -0.15$; 1 деление $= 0.45$ мг:

n° отсчета	3	4	5	6	7	
Элонгации	+ 6.9	— 7.0	+ 6.5	— 6.6	+ 6.0	$C = 1.0333$
n° отсчета	28	29	30	31	32	
Элонгации	— 3.4	+ 3.0	— 3.2	+ 2.8	— 3.0	1.0334

б) Ряд 6 (тогда же); среднее $L = -0.30$; чувствительность та же:

n° отсчета	7	8	9	10	11	
Элонгации	— 6.7	+ 5.9	— 6.3	+ 5.5	— 5.9	$C = 1.0339$
n° отсчета	23	24	25	26	27	
Элонгации	— 4.1	+ 3.4	— 3.9	+ 3.2	— 3.7	1.0282

Общее среднее $C = 1.032$

5) Нагрузка $= 100$ г; а) ряд 3 (28 октября 1882 г.); среднее $L = -1.50$; 1 деление шкалы $= 0.50$ мг:

n° отсчета	4	5	6	7	8	Среднее
Элонгации	+ 5.1	— 7.9	+ 4.7	— 7.5	+ 4.3	$C = 1.0328$
n° отсчета	41	42	43	44	45	
Элонгации	— 3.7	+ 0.7	— 3.6	+ 0.5	— 3.5	1.0324

б) Ряд 4 (тогда же); среднее $L = -1.30$; чувствительность та же:

n° отсчета	10	11	12	13	14	
Элонгации	+ 4.3	— 6.7	+ 3.9	— 6.3	+ 3.5	$C = 1.0392$
n° отсчета	20	21	22	23	24	
Элонгации	+ 2.7	— 5.2	+ 2.5	— 5.0	+ 2.3	1.0267

Общее среднее $C = 1.033$

Таким образом, когда:

	C	1 деление, в миллиграммах	t, в секундах
Чашек нет и нагрузка 0	1.013	?	14.2
Чашки надеты » » 0	1.043	0.42	19.0
» » » » 20 г	1.038	0.43	20.6
» » » » 50 »	1.032	0.45	23.6
» » » » 100 »	1.033	0.50	26.4

Под знаком t в последнем столбце дано среднее время одного размаха, равного 10 div. — в секундах.[1]

Увеличение C, т. е. быстрейшая убыль размахов, при наложении чашек понимается из того, что тогда увеличивается сопротивление воздуха, более же сложное изменение C при увеличении груза объясняется, по моему мнению, совокупностью двух других влияний: 1) от увеличения нагрузки возрастает трение ножей на подставках, а потому C должно возрастать, и 2) при увеличении нагрузки возрастает живая сила колеблющейся массы, а потому C должно уменьшаться.[2] Совокупность всех этих влияний ведет к тому,

[1] Я привел здесь же средние времена длительности одного размаха для того, чтобы было ясно видеть, с одной стороны, что с возрастанием нагрузки единовременно уменьшается «чувствительность», т. е. увеличивается число (далее оно означено n) миллиграммов, отвечающих 1 делению шкалы, и в то же время увеличивается длительность размахов, а с другой стороны, чтобы показать отсутствие пропорциональности возрастаний того и другого рода. Это видно из того, что для нагрузки 0 значение $n/t = 0.42/19.0 = 0.022$, а при 100 г $= 0.018$. Это уже ясно показывает, что судить о чувствительности и ее изменениях по наблюдению времен качаний не только практически неудобно, но и не достаточно точно. Притом здесь, с увеличением грузов, увеличивается n (чувствительность уменьшается) и t, а с увеличиванием расстояния центра тяжести от точки опоры n увеличивается (чувствительность уменьшается), а t (длительность размаха) уменьшается. Время t изменяется также с величинами размаха (выноска 1, стр. 221). Поэтому зависимость между чувствительностью данных весов и временами размахов очень сложна, чтобы ею пользоваться при практике взвешиваний, как полагает, повидимому, д-р Thiesen (l. c., Etudes sur la balance, стр. 9: «La durée d'oscillation d'une balance donne une mesure très exacte de sa sensibilité»), из статьи которого заимствованы вышеуказанные числа.

[2] Сверх того, в уменьшении C при нагрузке чашек, вероятно, играет некоторую роль и то обстоятельство, что колебания поддерживаются от того, что при понижении одной чашки и поднятии другой груз первой увеличивается, от увеличения напряжения тяжести, а у второй чашки убавляется, а это действие сильнее при увеличении нагрузки.

что при некотором грузе C будет иметь наименьшую величину и в описываемом ряде определений это, повидимому, происходит при нагрузке от 50 до 100 г.

Во всяком же случае, перемены в величине C, определяющей убыль размахов, лишь косвенно связаны с чувствительностью весов, и величина C, при данных весах и нагрузке, может быть считаема за постоянную, которую полезно знать по той причине, что с ее помощью, даже из двух наблюденных элонгаций коромысла, можно судить о положении равновесия, как легко видеть из соображений, далее излагаемых. Но прежде чем переходить к этой практической стороне точных взвешиваний, я считаю необходимым рассмотреть те следствия, которые вытекают из равенства:

$$C = -\frac{l_n - l_{n+1}}{l_{n+2} - l_{n+1}},$$

которое для большей симметричности мы представим в виде

$$\frac{l_n - l_{n+1}}{l_{n+1} - l_{n+2}} = -C. \qquad (V)$$

Приняв это выражение, легко видеть, что им определяются все размахи коромысла весов, т. е. и равновесие, означаемое показанием шкалы L. Действительно, по 3 элонгациям l_n, l_{n+1}, l_{n+2} определяется C, а если оно известно, то по 2 элонгациям l_n и l_{n+1} определяется следующая за ними элонгация l_{n+2}:

$$l_{n+2} = \frac{l_n + l_{n+1}(C-1)}{C}.$$

Точно так же

$$l_{n+3} = \frac{l_{n+1} + l_{n+2}(C-1)}{C} = \frac{l_n(C-1) + l_{n+1}(C^2 - C + 1)}{C^2},$$

$$l_{n+4} = \frac{l_{n+2} + l_{n+3}(C-1)}{C} = \frac{l_n(C^2 - C + 1) + l_{n+1}(C^3 - C^2 + C - 1)}{C^3}.$$

Вообще

$$l_x = \frac{l_n(C^{x-4} - C^{x-5} + C^{x-6} \ldots \pm 1) + l_{n+1}(C^{x-3} - C^{x-4} + C^{x-5} \ldots \pm 1)}{C^{x-3}},$$

или

$$l_x = l_n\left(\frac{1}{C} - \frac{1}{C^2} + \frac{1}{C^3} - \ldots \pm \frac{1}{C^{x-3}}\right) + l_{n+1}\left(1 - \frac{1}{C} + \right.$$
$$\left. + \frac{1}{C^2} - \ldots \pm \frac{1}{C^{x-3}}\right).$$

Это значит, что, зная C и какие-либо 2 элонгации, можно узнать все другие элонгации, а следовательно, и L, потому что оно $= l_x$, когда $x = \infty$. Но тогда

$$l_x = L = l_{n+1} + (l_n - l_{n+1})\left(\frac{1}{C} - \frac{1}{C^2} + \frac{1}{C^3} - \ldots\right),$$

где C более 1, следовательно $\frac{1}{C}$ менее 1 и в скобках ряд, быстро сходящийся. А так как по биному Ньютона

$$\left(1 + \frac{1}{C}\right)^{-1} = 1 - \frac{1}{C} + \frac{1}{C^2} - \frac{1}{C^3} - \ldots,$$

то

$$L = l_{n+1} + (l_n - l_{n+1})\left[1 - \left(1 + \frac{1}{C}\right)^{-1}\right] = l_{n+1} + \left(\frac{l_n - l_{n+1}}{C+1}\right),$$

или

$$L = \frac{C \cdot l_{n+1} + l_n}{C+1}. \qquad \text{(VI)}$$

Это выражение, очевидно, открывает возможность, зная C, определять равновесие L по всяким 2 наблюденным соседним элонгациям. Например, пусть $C = 1.050$, как для весов Неметца при нагрузке в 1 фунт, и пусть даны элонгации:

l_1	l_2	l_3	l_4
60.000	40.476	59.071	41.361.

Из совокупности всех их по формуле (II) получаем $L = 50.00025$, а по формуле (VI) из l_1 и l_2 получаем $L = 49.99990$, из l_2 и l_3 выходит $L = 50.00027$, из l_3 и l_4 получается $L = 50.00002$, среднее из этих трех $L = 50.00006$, что, как увидим далее, даже ближе к истине, чем вывод (50.00025), полученный по формуле (II). Даже каждый отдельный вывод по формуле (VI) точнее вывода по формуле (II), не говоря уже о формуле (I), которая еще дальше от истины.

Сущность вышенайденного сводится к тому, *что, зная* C, отвечающее весам и нагрузке (а его легко найти, опреде-

лив предварительно на тех же весах, при той же нагрузке, несколько элонгаций), *можно по 2 элонгациям определить* показание шкалы L при *равновесии*. А это позволяет не только сократить работу взвешиваний, но, что всего важнее, чрез сокращение времени каждого отдельного взвешивания иметь менее поводов к изменению состояния весов, или найти более точно «функцию времени», показывающую неизбежные изменения, совершающиеся с весами в период «системы» взвешиваний, о чем подробнее говорится далее.[1]

Но прежде чем идти далее, мы извлечем другие практические следствия из формулы (V), которую мы кладем в основание всего дальнейшего исследования о точных взвешиваниях и равновесии весов.

Для того, чтобы от выражения (V) перейти к общему выражению колебаний весов, представим формулу (V) в виде

$$l_{n+2} - l_{n+1}\frac{C-1}{C} - l_n\frac{1}{C} = 0 \qquad \text{(V bis)}$$

и примем для удобства преобразований:[2]

$$l_n = x^n; \quad l_{n+1} = x^{n+1} \quad \text{и} \quad l_{n+2} = x^{n+2};$$

тогда получается

$$x^{n+2} - x^{n+1}\cdot\frac{C-1}{C} - x^n\frac{1}{C} = 0;$$

а после деления на x^n:

$$x^2 - x\frac{C-1}{C} - \frac{1}{C} = 0.$$

---

[1] Однако впредь до нового более подробного опытного изучения всего, что относится до перемен C, т. е. величины убыли размахов, я считаю полезным сохранить определение равновесий из 3 или 4 элонгаций, подобно тому, как впредь до более подробного изучения изменений чувствительности n полезно определять ее в каждом взвешивании. В будущем, когда полное изучение C и n будет сделано (что требует много специальных работ), можно предвидеть такую организацию точных взвешиваний, которая потребует времени в 4—10 раз менее, чем ныне, особенно если механизмы для перемены грузов из AB в BA и обратно будут устроены для более быстрого действия, чем до сих пор. В этом последнем отношении весы Неметца уже превосходят весы Рупрехта, потому что на первых, по опыту Главной палаты, можно совершить все взвешивание (при наблюдении 4 элонгаций и равных временах качаний) в два раза быстрее, чем на вторых.

[2] За указание простого способа преобразований, который далее изложен и кратчайшим способом ведет к выводу (VII), считаю долгом благодарить моего друга Н. А. Смирнова.

Решение этого уравнения дает два корня:

$$x = 1$$
$$x = -\frac{1}{C}.$$

Следовательно, частные решения суть:

$$x^n = A,$$
$$x^n = B\left(-\frac{1}{C}\right)^n = \frac{B}{(-C)^n},$$

где A и B — произвольные постоянные. Общее решение, заключающее все частные, очевидно, будет равно полусумме частных

$$x^n = \frac{1}{2}A + \frac{\frac{1}{2}B}{(-C)^n},$$

или, так как при $n = \infty$ x^n или l_n означает равновесие L, т. е. $\frac{1}{2}A = L$, а $\frac{1}{2}B$ означает уклонение от L при $n = 0$, которое означим чрез R, то

$$l_n = L + \frac{R}{(-C)^n} = L + R(-C)^{-n}. \qquad \text{(VII)}$$

Формула эта[1] обнимает все явления колеблющихся весов и легко позволяет точным образом вычислять равновесие по наблюденным элонгациям — если «состояние весов» (или «функция времени») сохраняется, т. е. моменты плеч не изменяются, что мы пока и предполагаем.

Полагая $n = 0$, 1 и 2, т. е. для 3 элонгаций, имеем:

$$l_0 = L + R,$$
$$l_1 = L - \frac{R}{C},$$
$$l_2 = L + \frac{R}{C^2}.$$

[1] Формула подобного же вида применялась при обсуждении колебаний весов неоднократно. Для примера укажу на стр. 23 вышеуказанной статьи д-ра Thiesen'a (Travaux et Mémoires d. Bureau Intern., t. V, 1886).

Мы выше видели, что C есть величина, легко находимая и постоянная для данных весов и нагрузок, по крайней мере, при тех небольших размахах, которые одни и отвечают условиям точного взвешивания. Что же касается до величины R, то она совершенно условна, зависит лишь от того — с которого колебания начинается их счет; реальное значение ее есть выражение полуразмаха при начальном качании или разность $l_0 - L$, притом $R = \frac{(l_0 - l_1)^2}{l_0 - 2l_1 + l_2}$. Весь интерес сосредоточивается на L. Величина C, очевидно, $= \frac{l_0 - l_1}{l_2 - l_1}$, как и следует по условию, а равновесие

$$L = \frac{l_0 l_2 - l_1^2}{l_0 - 2l_1 + l_2}, \qquad \text{(VIII)}$$

или

$$L = \frac{Cl_1 + l_0}{C+1} - \frac{Cl_2 + l_1}{C+1}.^1 \qquad \text{(IX)}$$

Это последнее выражение тождественно с вышенайденным (VI), но (VIII) явно отличается от выражения формулы (I). Но так как при наблюдении 3 элонгаций расчет по формуле (I) очень удобен, то для получаемого по ней L можно вводить поправку, которая равна

$$-\frac{(l_0 - l_2)^2}{4(l_0 - 2l_1 + l_2)} = -\frac{C-1}{C+1}\frac{(l_1 - l_3)}{4},^2$$

а потому если даны элонгации l_1, l_2, l_3, истинное положение равновесия найдется (без вычисления C) из равенства

$$L = \frac{1}{4}\left[l_1 + 2l_2 + l_3 - \frac{(l_1 - l_3)^2}{l_1 - 2l_2 + l_3}\right] \qquad \text{(X)}$$

или, когда C известно,

$$L = \frac{1}{4}\left[l_1 + 2l_2 + l_3 - \frac{C-1}{C+1}(l_1 - l_3)\right]. \qquad \text{(Xa)}$$

---

[1] Можно определить L и по двум отсчетам l_0 и l_2, зная C, но такое определение мало надежно, вследствие ошибок отсчета: $L = \frac{C^2 l_2 - l_0}{C^2 - 1}$. Однако для суждения о степени точности отсчетов очень полезно сличать L, найденное этим путем, с тем, которое находится из 2 отсчетов, прямо следующих друг за другом l_0 и l_1 или l_1 и l_2.

[2] Так как C обыкновенно не более 1.05, то $\frac{C-1}{C+1}$ менее 0.025, а потому, если $l_1 - l_3$ менее 1 или 2 целых делений шкалы, разность (I) от (VIII) менее сотых деления.

Если бы не было погрешностей отсчета, то это выражение дало бы тождественное значение с двумя другими, основанными на знании C:

$$L = \frac{Cl_2 + l_1}{C+1},$$

$$L = \frac{Cl_3 + l_2}{C+1}.$$

Полусумма этих последних дает

$$L = \frac{\frac{l_1+l_2}{2} + C\frac{l_2+l_3}{2}}{C+1}.$$

Сличая L, полученное по (X), с находимым по этой формуле, можно получить, даже при определении 3 элонгаций, представление о средней мере погрешностей отсчетов, что немаловажно при точных взвешиваниях, когда многократное их повторение (например при взвешивании прототипов) или невозможно, или нежелательно. Однако для суждения о средней мере погрешностей отсчетов, равно как и для увеличения степени точности вывода L наиболее полезно определение 4 элонгаций, хотя вывод из них L по формуле (II) нельзя считать вполне точным. Дело в том, что 3 элонгации совершенно определяют как L, так и C, а следовательно и все последующие элонгации; следовательно, по существу дела, наблюдение четвертой элонгации может служить только средством для уменьшения влияния погрешностей отсчета. Поэтому (без знания C) истинное значение L из 4 элонгаций будет средним из 3 первых и 3 последних (по X):

$$L = \frac{1}{8}\left[l_1 + 3l_2 + 3l_3 + l_4 + \frac{(l_1-l_3)^2}{2l_2-l_1-l_3} + \frac{(l_2-l_4)^2}{2l_3-l_2-l_4}\right]. \quad \text{(XI)}$$

Сумма двух последних дробей равна

$$\frac{C-1}{C+1}(l_3+l_4-l_1-l_2) = \frac{(C-1)^3}{C(C+1)}(l_2-l_3);$$

очевидно (так как $C-1$ входит в кубе), что обыкновенно вся эта поправка очень мала, а потому выражение (II) весьма недалеко от истины.

Для уяснения рассмотрим несколько практических примеров.

Из цитированных выше наблюдений д-ра Thiesen'a (t. V, Observations, стр. III) возьмем сперва для весов Stucckrath два ряда (первый и последний на указанной странице): один для качаний без нагрузки (n° 1) и другой (n° 2) при нагрузке в 500 мг. Оба относятся к 18 июня 1883 г. Дано по 10 элонгаций. В обоих случаях, по показанию автора, 1 деление шкалы = 0.0056 мг.

n° 1. Без нагрузки				n° 2. Нагрузка 500 мг			
элонгации	вычисленное C	равновесие L		элонгации	вычисленное C	равновесие L	
		по $2l$ (IX)	по $3l$ (Xa)			по $2l$ (IX)	по $3l$ (Xa)
l_1 25.9	—	—	—	38.7	—	—	—
l_2 19.5	1.185	22.53	22.40	28.15	1.122	33.10	33.07
l_3 24.9	1.102	22.34	22.35	37.55	1.146	33.14	33.22
l_4 20.0	1.139	22.32	22.27	29.35	1.101	33.20	33.22
l_5 24.3	1.062	22.26	22.22	36.8	1.164	33.30	33.40
l_6 20.25	1.109	22.17	22.16	30.4	1.133	33.41	33.37
l_7 23.9	1.106	22.17	22.18	36.05	1.119	33.21	33.41
l_8 20.6	1.100	22.16	22.16	31.0	1.217	33.37	33.25
l_9 23.6	1.071	22.18	22.16	35.15	1.012	33.20	33.09
l_{10} 20.8	—	22.12	—	31.05	—	32.99	—
	C=1.11	L=22.25	22.25		C=1.13	L=33.22	33.25

Thiesen вычислил L=22.271 . . . . . 33.212
По (III) вычисляется L=22.214 . . . . . 33.336

Этот пример ясно показывает, что в обычных условиях точных взвешиваний, подобных тем, в каких работал в Международном бюро д-р Thiesen, состояние весов при многих друг за другом следующих колебаниях совершенно явно меняется; например, при взвешивании n° 1 равновесие все время падало от 22.53 до 22.12 деления, что отвечает 0.41 div. = 0.0023 мг, а это уже крупная величина для весов, назначенных исключительно для выверки мелких (миллиграммовых) гирь. Хотя в среднем результате L, вычисленные по разным способам, довольно близки между собою, но все выгоды точного взвешивания совершенно исчезают, когда нет ни уверенности в сохранении равновесия (постоянстве L), ни возможности узнать степень его

изменения (а изменения совершаются — несомненно), а для суждения о весе необходимо произвести несколько взвешиваний (например, AB, BA и $BA+r$), и результат получается только из их системы, что далее подробно рассматривается.

Вводимое мною суждение о L по 2 элонгациям дает возможность судить о малейших изменениях в состоянии весов и принять это во внимание. А так как во взвешивании n° 1 все время L падало, а в n° 2 сперва возвышалось, а потом падало, то суждение о ходе изменений, совершающихся с весами, очевидно, должно быть очень детальным, а этого можно достигать только при наблюдении малого числа колебаний: двух, много 3 или 4, а уже никак не большего числа; наблюдения же, подобные предшествующим, где определяются 10 элонгаций, очевидно, не могут дать удовлетворительного результата для системы взвешиваний. Поэтому в двух других примерах я беру лишь по 4 и 5 элонгаций.

Из тех же поучительных данных д-ра Thiesen'a (l. c., стр. XIV, Pesée n° 4, 3 октября 1883 г.) беру одно из лучших данных (l. c., стр. 27), полученное при нагрузке в 1 кг на весах Bunge, когда размахи были очень малы (чего и должно достигать при точных взвешиваниях), а именно из 4-го ряда 5 последних элонгаций (для всех 10 Thiesen вывел $L = 199.437$); 1 div. $= 0.017$ мг:

	l_6	l_7	l_8	l_9	l_{10}
	200.27	198.66	200.10	198.90	200.02
Вычисленное $C = \ldots$	—	1.118	1.200	1.071	—
L по $2l$ (C=1.13) (IX) .	199.416	199.424	199.463	199.494	
L по $3l$ (Xa)	—	199.412	199.455	199.485	—

Таким образом и здесь, несмотря на малость колебаний, ясно видно, что положение равновесия L возрастало[1] с большою правильностью (примерно на 0.031 div. в продолжение 1-го размаха). Среднее L по $2l$ и (IX) $= 199.449$, а по $3l$ (Xa) $= 199.451$, общее среднее $L = 199.450$[2] наиболее достоверно

[1] Это подтверждается и тем, что из дальнейших колебаний (5—6-й ряды) Тизен вывел $L = 223.729$.

[2] Считая среднее $C = 1.130$ и $L = 199.450$, а l_6 считая за l_0, получаем общее выражение

$$l_n = 199.450 + \frac{0.8785}{(-1.130)^n}.$$

и должно быть отнесено по времени к l_8. Вывод по (III) $L=199.446$ конечно, недалек от истины (особенно же близок к среднему из 2 средних, выведенных по $2l$ и C), но при точных метрологических взвешиваниях, я полагаю, не только полезно и желательно достижение всей возможной строгости выводов, но и не следует пренебрегать малыми разностями, потому что и для них столь образцовый прибор, как точные весы, дает возможность вывода, хотя отсчеты и ограничиваются десятыми и сотыми деления, как видим этому пример в астрономических наблюдениях, где едва ощутимые сотые и тысячные доли секунды (по дуге круга и по времени) выводятся с достаточною вероятностью и нередко служат к решению важных научных вопросов.

В виде третьего примера беру 1-е наблюдение Ф. П. Завадского из числа приведенных во «Временнике» (ч. 2, стр. 185*):

	l_1	l_2	l_3	l_4	
Элонгации	90.25	111.45	90.90	110.80	
Вычисление C	—	1.0316	1.0226	—	
L из 2 элонгаций по (IX), считая $C=1.0271$		100.992	101.038	100.982	Среднее $L=$
» $C=1.03$[1]		100.007	101.023	100.997	$=101.004$
					101.009

Из этого видно, что для точного расчета L по 2 элонгациям необходимо точное знание C, а так как при выводе L по 3 элонгациям и по формуле (X) не требуется предварительного знания C, то я считаю нормальным спо-

---

Отсюда для 5 наблюденных элонгаций вычисляются величины:

200.33, 198.67, 200.14, 198.84, 199.98

и разности от наблюдений:

-0.06, -0.01, -0.04, $+0.06$, $+0.04$.

Хотя все уклонения малы, едва ли превосходят точность отсчета, тем не менее из того, что первые отсчеты вышли меньше, а последние более разочтенных, можно уже заключить, что во время колебаний совершилась постепенная, хотя и небольшая перемена L, что и открывается при расчете L из 2 или 3 элонгаций.

* Стр. 211 настоящего тома. [*Прим. ред.*].

[1] Стр. 237.

собом нахождение L по 3 элонгациям с помощью формулы (X). Если дано 4 элонгации, то, сличая выводы из первых и последних 3 элонгаций, можно получить понятие о погрешностях отсчетов, если разность эта не объясняется изменениями состояния весов, о чем речь далее. Во взятом примере из l_1, l_2, l_3 по (X) получаем $L=101.022$, из l_2, l_3, l_4 оказывается $L=101.002$; среднее L должно считать наиболее точным и конкретным выражением равновесия, оно $=101.012$. По (II) получается также $L=101.012$, но такое совпадение не всегда встречается, здесь же оно произошло преимущественно потому, что C мало отличается от 1 и близко к 1.03, а мы выше видели, что разность обоих расчетов $=\frac{(C-1)^8}{C(C+1)}(l_2-l_3)$, что дает 0.0002.

Из вышеизложенного должно сделать следующие *практические* выводы:

1) Из *двух* наблюденных элонгаций, зная C, можно, по (IX) вывести точное L. Это, по моему мнению, может быть весьма важным приемом для сокращения всего взвешивания, а оно не столь важно для выигрыша длительности работы, сколько для увеличения точности результата ($A-B=x$), так как сокращение времени взвешиваний уменьшает поводы к перемене «состояния» весов, а вывод x должен быть основан на знании равновесия AB во время производства взвешивания BA, т. е. на знании изменения «состояния» весов, что далее подробно разбирается.

2) Определение C (по IV) для данных весов и нагрузок лучше делать, примерно, при тех же величинах размахов, какие совершаются при самых взвешиваниях, для чего достаточно (ради возможного уничтожения неизбежных погрешностей отсчетов) наблюдать 4 или 5 элонгаций.

Очевидно, что C нельзя точно определять из очень малых размахов.

3) При наблюдении лишь 2 элонгаций в выводе L, конечно, может скопляться бóльшая доля погрешностей отсчета, чем при выводе L из 3 или 4 элонгаций, но *вся* погрешность отсчетов обыкновенно менее погрешности L по времени. Так, например, в одном из указанных выше взвешиваний (18 апреля 1895 г., стр. 228), где изменения L по времени сравнительно очень малы (менее чем обыкновенно бывает в Главной палате и в Международном бюро, см. далее), все же они достигают разности 1.3 деления (взвешивания 10 и 12 AB) в промежуток времени 2 взвешиваний, следовательно на 1 взвешивание 0.65 деления шкалы

а вся погрешность отсчетов, при опытных наблюдателях, очень редко может достигать 0.2 деления, обыкновенно же не более 0.05 деления, тогда как при переходе от одного взвешивания к другому всегда в среднем выводе замечается гораздо большее изменение равновесия L_t, как видно из многих примеров этой статьи.[1] Поэтому, выражаясь возможно кратко: для точности вывода ($x = A - B$) выгоднее сокращать расстояние — по времени — между единичными взвешиваниями, служащими для вывода результата, чем увеличивать число наблюдаемых элонгаций для увеличения точности L.[2]

4) Если C неизвестно, отсчет *трех* элонгаций, по (X), дает точное выражение равновесия L, причем большая часть погрешностей отсчетов взаимно уничтожается. Это достигается еще в большей мере наблюдением 4 элонгаций и расчетом (по X или XI) среднего L по 3 элонгациям, причем обыкновенно (если размахи малы) можно пользоваться формулою II. Наблюдать более 4 элонгаций явно вредно для точности вывода ($x = A - B$), потому что точность L не возрастет, а время единичных взвешиваний, входящих в систему, дающую x, увеличивается, чрез что уравнение «состояния» становится менее точным.

---

[1] Так, например, в случайно взятом наблюдении (11 и 12 апреля 1886 г.) Международного бюро, разобранном в конце статьи, в 4 системах уклонения AB от среднего суть: (1) среднее 92.795, maximum 93.975, minimum 92.172, т. е. $+0.780$ и -0.623; (2) при среднем 69.988, $+0.362$ и -0.176 деления; (3) при среднем 93.199, $+1.283$ и -1.052, и в (4) при среднем 93.145, $+0.327$ и -0.615. В квадратичном среднем ± 0.741 деления шкалы.

[2] По этой же причине — ради сокращения времени между отдельными взвешиваниями, образующими систему, служащую для вывода x, — в установке «чувствительности» весов (изменяя положение центра тяжести коромысла) должно соблюдать должную меру, т. е. не должно делать весы очень чувствительными, ибо тогда увеличиваются времена колебаний или разности времен, отвечающих 2 соседним элонгациям. Практически время 1 размаха должно быть не более 1 мин. и не менее 30 сек. Взяв 45 секунд, зарасходуется при наблюдении 2 элонгаций около 2 минут на отсчет и запись, и если механизмы арретировки, перемены грузов (из AB в BA и обратно) и добавки r (для определения чувствительности) действуют столь хорошо, как в весах Неметца, то в среднем между взвешиваниями протечет не более 1 минуты, а потому время между средними единичных взвешиваний может быть доведено до 3 минут, причем «система» из 14 взвешиваний займет около 42 минут. На весах, устраиваемых г-ном Рупрехтом, на промежуточные действия идет чересчур много времени, так что 14 взвешиваний, при наблюдении 4 элонгаций, занимают около $1\frac{1}{2}$ часов времени.

5) Выведенное из единичного взвешивания положение равновесия L должно быть относимо к среднему времени между временем крайних элонгаций, служивших для вывода L, например, при наблюдении 2 элонгаций l_1 и l_2 — время между ними. Для определения этого времени должно или прямо наблюдать это время или знать длительность размаха и время одной из элонгаций (или время прохождения чрез одно из равновесий), например, если наблюдаются l_1, l_2 и l_3 и время t для l_3, то время, к которому относится $L = t - \tau$, где τ означает длительность размаха, так как время L равно времени второго размаха.

II. О системах точных взвешиваний и о изменении «состояния» весов. Как бы тщательно и рационально не было организовано единичное взвешивание, которым мы занимались до сих пор, оно не может дать искомого отношения между весом (массою) грузов A и B, лежащих на чашках весов, уже по тому одному, что весами могут определяться лишь отношения моментов плеч коромысла, а эти моменты определяются не только грузами, положенными на чашки,[1] но и массою самого коромысла весов, положением его центра тяжести и относительною длиною плеч, а последняя величина, входя множителем в величину момента плеч, сильнейшим образом влияет на равновесие весов. Обычные взвешивания ограничиваются единичным взвешиванием только по той причине, что длину плеч считают одинаковою и неизменною, чего при точных взвешиваниях нельзя признавать. Поэтому кроме взвешивания грузов AB, при точных взвешиваниях неизбежно

---

[1] Добавочные же грузы или гири, которыми производится взвешивание, не могут дробиться до тех пределов веса (например до тысячных долей миллиграмма), до которых возможно точное определение разностей веса при наблюдении равновесий. В этом и лежит существенная черта отличия точных, или метрологических взвешиваний от обычных, применяемых в общежитии и технике, где можно довольствоваться дробными гирями, или от лабораторных взвешиваний, где дробные части веса определяются по положению рейтера (крючка). Этот последний способ, по мнению моему, при должной разработке, может доставлять путем двойного взвешивания, превосходные результаты, но все же он не может давать точнейшего результата — вследствие неизбежных перемен «состояния» весов. Сущность точных взвешиваний, как я их понимаю, определяется именно понятием о «состоянии» весов. Поэтому я над этим предметом долее всего останавливаюсь и в нем вижу главный предмет всей этой статьи, потому что о нем до сих пор не было ясно сознанных представлений.

необходимо *второе* взвешивание, или определяющее относительную длину плеч, или служащее к исключению влияния разности длины плеч, для чего и служит, как известно, двойное взвешивание, предложенное и примененное Борда еще в прошлом столетии. Важное усовершенствование этого приема составляет способ Гаусса, который предложил, вместо взвешиваний AC и BC, служащих для сличения масс A и B, исключить C и двойное взвешивание вести только при помощи самих A и B, кладя их сперва в положение AB (A на левой чашке, B на правой), а потом в положение BA. Если во втором положении было достигнуто то же равновесие, как в первом, чрез прибавку груза a к A, то истинное уравнение веса между A и B найдется точно так же, как и в способе Борда. Назовем длину левого плеча чрез R_g, правого чрез R_d. При первом взвешивании AB равенство моментов выразится уравнением

$$A \cdot R_g = B \cdot R_d.$$

При втором взвешивании

$$B \cdot R_g = (A + a) \cdot R_d.$$

Разделяя соответственные части друг на друга, получаем

$$\frac{A}{B} = \frac{B}{A + a}.$$

А отсюда

$$A^2 + Aa = B^2.$$

Если A и a известны, то

$$B = \sqrt{A^2 + Aa}.$$

Это дает, когда a очень мало относительно A (т. е. плечи почти равны), быстро сходящуюся строку

$$B = A + \frac{1}{2}a - \frac{1}{4} \cdot \frac{a^2}{A} + \cdots$$

Если же, как это обыкновенно и бывает, a составляет даже при нагрузке в 1000 г только миллиграммы или их доли, то уже третий член столь ничтожно мал, что им можно пренебречь даже в самых точных современных взвешиваниях. Например, если $A = 400$ г и $a = 0{:}004$ г (что

очень много и при исправных весах не бывает), то третий член $= -0.000000005$ г. Если же пренебречь третьим и следующими членами ряда, то

$$B = A + \frac{1}{2}a, \qquad \text{(XII)}$$

т. е. разность веса $B - A$ двух грузов равна полуразности нагрузок, уравновешивающих друг друга при переменном положении нагрузок на разных чашках: сперва AB, потом $B(A + a)$. Вообще

$$A - B = \pm\frac{1}{2}a,$$

где a определяет разность веса в двух положениях AB и BA. При точных взвешиваниях эта разность определяется не добавочными гирями a, а из разности равновесий $L_{AB} - L_{BA}$ и, следовательно,

$$A - B = \pm\frac{1}{2}(L_{AB} - L_{BA})\,n, \qquad \text{(XII bis)}$$

где n есть «чувствительность», или такая нагрузка, которая изменяет положение равновесия на 1 деление шкалы, причем очевидно, что произведение n на разность равновесий при грузах AB и BA показывает разность нагрузок $= a$, а половина этого произведения — искомую разность $A - B = x$;

$$\pm x = \frac{1}{2}(L_{AB} - L_{BA})\,n. \qquad \text{(XII bis)}$$

Что касается знака при x, т. е. того, что $A > B$ или наоборот, то об этом легко судить, как сказано будет далее.

Вследствие этого к двум указанным основным взвешиваниям необходимо прибавить еще *третье* взвешивание гирь, чтобы получить с желаемою точностью искомое уравнение зависимости веса $B = A + x$, потому что для перехода от разности $L_{AB} - L_{BA}$, выраженной делениями шкалы, к искомой весовой разности необходимо определить *чувствительность* весов, для чего к A или B прибавить известный (заранее выверенный) малый груз r (от 1 мг до 0.1 мг, обыкновенно 0.2 мг, изготовляемых из очень тонкой проволоки) и узнать разность равновесий m, зависящую исключительно от груза r, чтобы чрез это определить груз n, отвечающий одному делению шкалы в данных условиях взвешивания. Тогда разность x в миллиграммах

будет $(L_{AB} - L_{BA})n$. Эта часть работы точных взвешиваний имеет такое значение и такие свои особые интересы, что о ней следовало бы говорить отдельно (что, быть может, и будет мною сделано в особой статье) в связи с теориею весов, но, так как предмет этот сам по себе представляет элементарную ясность, то я считаю возможным ограничиться здесь лишь следующими краткими замечаниями: а) для определения чувствительности n необходимо особое *третье* взвешивание, которое мы означим чрез $AB + r$ или $A + rB$. б) Хотя чувствительность n при данных весах и нагрузках представляет большое постоянство, а потому может быть определена заранее или после взвешиваний AB и BA (как это и сделано в Международном бюро при установлении веса килограммов), но способ этот нельзя считать безупречным,[1] потому что обыкновенно в точных весах при тщательном исследовании открываются перемены чувствительности n в зависимости как от температуры коромысла,[2] так и от величины размахов, равно как от тех частей шкалы, на которые приходятся равновесия L и L_1, отвечающие нагрузкам AB и $AB + r$,[3] и притом определение n зависит

---

[1] Международное бюро прибегло к этому способу (определение чувствительности вне взвешиваний) только потому, что его весы не имеют приспособлений для наложения добавочного груза r издали — без приближения наблюдателя. В весах Неметца и Рупрехта Главной палаты эти приспособления существуют (Временник, ч. 2, стр. 177).*

* См. стр. 201. [*Прим. ред.*].

[2] Коромысло весов содержит разные материалы: бронзу, сталь, горный хрусталь призм, на которых качаются коромысло и чашки, и стекло зеркал или призм, служащих для наблюдения шкалы, а потому, вследствие неравномерности расширения этих материалов, при общей перемене температуры, происходит небольшое изменение формы и относительного положения частей коромысла, а это влечет за собою изменение расстояния центра тяжести от точки опоры, что и производит перемену чувствительности. Д-р Marek (Travaux et Mémoires, d. Bureau Intern., t. VIII) даже старался выразить зависимость n от t. Данные Главной палаты подтверждают перемену n с изменением температуры.

[3] Совершенство в геометрически правильной установке отражающего зеркала коромысла, самой шкалы и трубы, чрез которую производится отсчет, — практически неисполнимо. Оно особенно трудно достижимо при том устройстве отсчета, который принят в весах г-на Неметца, где имеются 2 призмы, отражающие изображения двух шкал, единовременно видимых в отсчетную трубу. Поэтому разные доли шкалы отвечают неодинаковым углам уклонения коромысла. Все это, конечно, можно изучить, на все это можно ввести соответственные поправки, но, не избегая их, все же полезно держаться двух правил: 1) при данной системе взвешиваний все отсчеты, а следовательно, и все равновесия L сводить на одну небольшую группу делений шкалы (например от 80 до 120 делений, если нуль около 100 делений) и 2) все определения про-

от тех изменений, которые совершаются с весами в период взвешиваний, так что n, строго говоря, нельзя считать на практике зависящим только от нагрузки, что и заставляет для достижения всей возможной точности взвешиваний производить каждый раз новое определение чувствительности. в) Для определения n следует брать по возможности малый определенный груз r и прикладывать его к более легкому из главных грузов A или B, при таком их положении, чтобы равновесие при нагрузке $A+rB$ лишь мало выходило из области тех делений шкалы, которые отвечают колебаниям при грузах AB и BA,[1] чрез что достигается по возможности полная независимость вывода от некоторой неправильности, неизбежной в установке шкалы в отношении к геометрическим осям весов. г) Определение чувствительности следует производить в промежутке между двумя одинаковыми взвешиваниями, например так: AB,

---

изводить при малых размахах, но возможности не выходящих из принятого района шкалы. Тогда небольшие неточности в угловом значении делений шкалы впадут в неизбежные погрешности отсчетов. Но способ этот, которого мы и станем держаться при окончательных взвешиваниях прототипов, заставляет при определении чувствительности n или: а) употреблять грузы r очень малого веса, например в 0.1 мг (например, $A+1$ мг сличить с $B+1.1$ мг), что ныне и будет применяться в Главной палате при точнейших взвешиваниях, дабы не выходить из принятой области шкалы, или б) для определения n производить 2 особых взвешивания (но это удлиняет систему взвешиваний), одно: $A+rB$ и другое: $AB+r_1$, чтобы брать из них средний вывод (такой прием на весах Неметца легко исполним и испытан в Главной палате), или, наконец, в) особым исследованием установить отношение между угловыми значениями разных областей шкалы, что будет иметь значение только при данном положении трубы, зеркала и шкалы. Из всех этих способов наиболее доступен и практически легко выполним только первый, а потому его и должно рекомендовать.

[1] Например, пусть равновесие при AB дает L_1, при BA отвечает L_1+q и приращение L показывает увеличение груза на правой чашке. Наложив груз r на левую чашку, т. е. взвешивая $B+rA$, мы тогда получим некоторое показание L_2 меньшее, чем L_1+q, и груз r надо так избрать, чтобы L_2 недалеко удалялось от L_1, например было близко к L_1-q, если q (чего и должно достигать) невелико. Например, во взвешивании, приведенном на стр. 185 во 2-й части «Временника»,* $r=1.00911$ и r приложено к B, L_1 около 101 div., L_1+q около 102.5, L_2 около 86 делений, а потому чувствительность определена не тою областью делений шкалы, которою определено отношение A к B. Было бы лучше, если бы, не изменяя A и B, взяли r около 0.2 мг и его приложили при взвешивании не к B, а к A (ибо оно легче B, что по предварительному взвешиванию всегда известно). Тогда было бы AB около 101, BA около 102.5 и $BA+r$ около 99.5, все отсчеты были бы почти при тех же делениях шкалы.

* См. стр. 211. [*Прим. ред.*].

потом $AB+r$ и затем опять AB. Если равновесия при этом были L_1, L_2 и L_3 (которое близко к L_1), то на первый раз можно полагать, что в момент взвешивания $AB+r$ равновесие при AB было $=\frac{1}{2}(L_1+L_3)$, а потому принимать $n=\frac{r}{L_2-\frac{1}{2}(L_1+L_3)}$. Если r мало, а расстояния по времени между наблюдениями (т. е. отвечающие L_2-L_1 и L_3-L_2) малы и одинаковы, то можно считать определение n, совершенно отвечающим всей возможной точности сличения A с B (вышеуказанное уже показывает необходимость *четвертого* взвешивания, т. е. повторения взвешивания AB).

При рассмотрении единичных взвешиваний мы уже имели случай убедиться в том, что в сравнительно короткое время 4—5 колебаний очень часто с весами совершаются такие изменения, которые влекут за собою без всякого изменения грузов перемену положения равновесия L, а потому и при переходе от взвешивания AB к BA и $BA+r$ не только могут, но и всегда совершаются некоторые перемены равновесий, которые необходимо знать, чтобы вывести со всею возможною точностью искомое уравнение веса $A=B+x$. Это тем необходимее, что между AB и BA проходит довольно значительное время, обыкновенно не меньшее, а даже большее, чем протекает в продолжение 4—5 колебаний. Изучая по двум соседним элонгациям, с помощью знания C, ход изменений в L, совершающихся в период колебаний, можно судить о направлении изменений, происходящих в период средних колебаний, а поэтому до некоторой степени, зная время или число протекших колебаний, судить о том равновесии, которое наступило бы при данном взвешивании в эпоху следующего взвешивания; но такое суждение было бы экстраполированием, которое тем менее надежно, что изменения, состоящие, например, в возрастании L, переходят, как мы видели в разобранных примерах, в падение и обратно. Поэтому для суждения о происходящих изменениях должно иметь, по крайней мере, 2 крайних по времени и 1 среднее по времени наблюдения одного и того же груза, а чтобы судить о мере сохранения данного порядка изменений, полезно иметь еще четвертое наблюдение при той же нагрузке. Так получается *система* взвешиваний, содержащая, *наименьшее*, следующие 5 взвешиваний:

1) AB, 2) $AB+r$, 3) AB, 4) BA и 5) AB.

Очевидно, что система будет улучшена, если введены будут еще 2 взвешивания:

6) BA и 7) AB,

потому что тогда AB взойдет 4 раза и укажет перемены в состоянии весов. Но наиболее полной система взвешиваний станет, если будут прибавлены еще 2 взвешивания:

8) $A+rB$ и 9) AB,

или, что еще того лучше; когда вместо 2 добавятся 3 взвешивания:

8) BA, 9) $BA+r$ и 10) BA,[1]

потому что при этом AB и BA повторяются одинаковое число раз, что и дает возможность судить гораздо точнее о всех изменениях «состояния» весов, происходивших во время всей системы взвешивания.

Если каждое из взвешиваний будет содержать по 4 определения элонгации, то в каждом взвешивании будет возможно (без знания C) определить равновесия, отвечающие l_2 и l_3, пользуясь сперва l_1, l_2, l_3, а потом l_2, l_3, l_4. Если время одного размаха от l_n до l_{n+1} известно, назовем его τ, и если будут записаны времена t_1, t_2... t_g, отвечающие известному размаху каждого взвешивания (например, времени прохождения чрез равновесие после записи l_2 или l_4), то получится возможность подробно узнать всю «функцию времени» и ввести все необходимые поправки, относящиеся к перемене «состояния весов» или к переменам в равновесиях L_i, что и должно придать наибольшую возможную точность получаемому результату. Однако вследствие неизвестности причин, определяющих перемену равновесия при данной нагрузке, и вследствие довольно частых перемен в направлении изменений этого рода (как показывают многочисленные опытные данные Международного бюро и Главной палаты), я считаю наиболее целесообразным принимать во внимание только такие изменения равновесий, которые обнимают период не более как 5 друг за другом следующих взвешиваний, и делать параболический расчет изменений не иначе, как по трем данным,[2] что не только

[1] Такую «систему» предполагалось первоначально ввести в Главной палате при окончательном сличении возобновляемых прототипов, как далее подробно развито, но ныне я остановился на системе еще более полной и надежной, содержащей 14 взвешиваний, как о том будет сказано в добавлении 2-м.

[2] Не прибегая к способу наименьших квадратов, потому что он сопряжен с новою гипотезою, относящеюся к ходу изменений «состояния» весов.

устраняет гипотезу о совершенной правильности долговременных изменений весов, но и значительно упрощает все расчеты, что имеет свое значение при большом числе взвешиваний и расчетов, с ними сопряженных. Здесь мы вступаем в самую важную и наименее разработанную до сих пор область точных взвешиваний. В ней обсуждается необходимость нахождения уравнений «состояния» или «функции времени» при производстве точных взвешиваний. Это потому, что для суждения об искомом x необходимы взвешивания AB и BA, да третье, определяющее n, а за это время все они изменятся, следовательно надо узнать, каково было бы равновесие AB, если бы оно определялось в то время t_2, когда производилось взвешивание BA, или когда находили равновесие при нагрузке $AB+r$. Очевидно, что надо узнать эмпирический закон изменения равновесия AB по времени или функцию времени для равновесий L_{AB}. Узнать ее можно только опытным путем, определяя L_{AB} или AB_t в разные времена: t_1, t_3, t_5 и т. д., и, узнав его, можно пользоваться только для интерполирования, т. е. для промежуточных времен t_2, t_4 и т. д. Функция $L_t=F(t)$ — неизвестна, а потому неизвестно, какой придать ей вид, проще же всего вид параболы: $L_t=a+bt+ct^2+\ldots$, но продолжать наблюдения для определения многих параметров не следует, потому, прежде всего, что (как указано выше) надо знать AB в два промежутка времени, следовательно довольно 3 взвешиваний, дающих AB в три эпохи, чтобы судить об AB в две промежуточных эпохи, а это заставляет ограничиваться параболою второго порядка, с тремя параметрами a, b и c. Я предлагаю, на основании соображений опыта и примеров, часть которых далее рассматривается, ограничиться для выражения «состояния» весов параболою 2-го порядка[1] уже по той причине, что для нахождения парабол высшего порядка нужно более наблюдений и времени, а обнять явление, причина коего неизвестна, эмпирическою функциею тем труднее, чем шире пределы применимости, ограничиться же временем 3 взвешиваний, например, AB_1, BA_2 и AB_3, предполагая, что AB изменяется по времени прямолинейно: $AB=a+bt$, я не считаю возможным по той причине, что опыт указывает на появление maximum'ов или minimum'ов в период 5 взвешиваний, что с прямолинейностью не согласуется, а параболою второго порядка может выражаться. Развитию этих общих

[1] Но это не устраняет проб, которые отчасти и делаются далее, парабол высших порядков.

приемов и объяснительным примерам, к ним относящимся, посвящается весь остаток предлагаемой статьи.[1]

Прежде всего считаю полезным показать на примерах правильность в изменении «состояния» весов или возможность получения функции времени. Для этой цели по моей просьбе Ф. П. Завадский и В. Д. Сапожников произвели в Главной палате при одинаковой нагрузке (=409.5 г) отсчет по 20 последовательных элонгаций на весах Рупрехта и Неметца. Величины L я расчел по формуле (X) из каждых 3 элонгаций. Чтобы не умножать числа данных, я ограничусь 4 случайно взятыми наблюдениями.

Время t	Весы Рупрехта, $n = 0.048$				Весы Неметца, $n = 0.038$			
	Завадский (№ 127)		Сапожников (№ 128)		Завадский (№ 159)		Сапожников (№ 163)	
	элонгация l_i	равновесие L_t	элонгации l_i	равновесие L_t	элонгация l_i	равновесие L_t	элонгация l_i	равновесие L_t
	I		II		III		IV	
1	96.2	—	92.0	—	196.5	—	175.0	—
2	113.3	104.890	117.7	105.079	174.55	185.216	198.0	186.756
3	96.75	104.859	92.9	105.058	195.3	185.116	176.0	186.731
4	112.65	104.814	116.75	105.028	175.3	185.044	196.95	186.705
5	97.2	104.772	93.7	105.024	194.3	184.952	176.9	186.682
6	112.05	104.752	115.95	105.026	175.9	184.935	196.0	186.638
7	97.7	104.745	94.5	105.021	193.65	184.993	177.65	186.646
8	111.5	104.701	115.15	104.977	176.75	184.982	195.3	186.617
9	98.1	104.686	95.1	104.960	192.8	184.941	178.2	186.585
10	111.05	104.689	114.5	104.952	177.4	184.921	194.65	186.604
11	98.55	104.686	95.7	104.935	192.1	184.877	178.9	186.609
12	110.60	104.677	113.85	104.928	177.9	184.898	194.0	186.564
13	98.95	104.673	96.3	104.927	191.7	184.914	179.35	186.548
14	110.2	104.639	113.25	104.928	178.35	184.859	193.5	186.565
15	99.2	104.596	96.9	104.948	191.05	184.815	179.9	186.573
16	109.8	104.602	112.75	104.939	178.8	184.849	193.0	186.539
17	99.6	104.598	97.35	104.910	190.75	184.890	180.25	186.523
18	109.4	104.589	112.2	104.915	179.25	184.872	192.6	186.553
19	99.95	104.611	97.9	104.936	190.25	184.852	180.75	186.547
20	109.15	—	111.75	—	179.65	—	192.1	—

[1] Ее сущность, конечно, не в том, чтобы выражать «состояние» весов параболою второго порядка, а в показании того: 1) что всегда

Единицею времени здесь служит время 1 размаха, а так как качания изохронны, то промежутки времен между рядом стоящими L равны. Поэтому времена t выражены здесь числами первого столбца, означающего порядок наблюденных элонгаций. Изменения «состояния» весов, выраженные в столбцах, показывающих равновесия L, требуется выразить как функцию t. Разберем для примера I ряд[1] определений. Он показывает, что по мере возрастания t величина L уменьшается. Все явление выразится с достаточною точностью параболою 2-го порядка:

$$L_t = 104.9276 - 0.03064t + 0.00066t^2. \qquad (a)$$

Чтобы убедиться в применимости этой формулы, должно сличить наблюденные элонгации с вычисленными, для чего и служит формула (t здесь равно n)

$$l_n = L_t + R(-C)^{-t}.$$

существуют изменения так называемого «состояния» весов — на что до сих пор еще никто не обращал сознательного внимания, 2) что изменение «состояния» можно и должно узнавать и выражать и 3) что этим способом *можно* и *должно* доводить точные взвешивания до точности, какая невозможна без признания изменения «состояния» весов. Первоначальное понятие об этих сторонах точных взвешиваний мелькает у разных исследователей, но они их не изучали и не обобщали в виде «*функции времени*», а потому мне приходится идти с элементарных сторон предмета, и я его рассматриваю преимущественно в примерах, чтобы не отрываться от действительности. Исходом для моих выводов служили факты, многократно ранее мною наблюдавшиеся и подтвердившиеся при точных работах в Главной палате, а потом свои выводы я испытывал в два последние года многократно — на деле, а потому мне хотелось придать всему изложению опытную окраску, хотя я знаю, что при непосредственном теоретическом обобщении изложение могло бы выиграть в силе и краткости, что я и предполагаю сделать со временем.

[1] Во всех рядах замечается тот же род правильностей, а ряды II и IV отличаются малыми изменениями «состояния». Примечательно, что во всех 4 рядах, случайно избранных, L уменьшается в своей величине, и особенно быстро вначале, т. е. при наблюдении первых элонгаций. Такое уменьшение вообще на наших весах замечается чаще увеличения. В обоих указанных весах деления шкалы идут справа налево, т. е. нуль направо, следовательно уменьшение показаний показывает возрастание момента левого плеча. Весы стоят близко друг к другу, но их оси перпендикулярны друг к другу, а левые плечи сближены, но расстояние около метра. В отсчетах наблюдений приведены показания шкалы без всяких поправок на калибрование (о чем говорится далее).

Из l_2, l_3, l_{10}, l_{11}, l_{17} и l_{18} находим $R=8.8605$ ($\log R=0.94755$), $C=1.0325$ ($\log C=0.01390$), а потому

$$l_t=104.9276-0.03064t+0.00066t^2+8.8605(-1.0325)^{-t}. \quad (б)$$

t	l по (б)	Опыт	Разность	L по (а)	Из данных	Разность
1	96.32	96.20	+0.12	104.898	—	—
2	113.18	113.30	—0.12	104.869	104.890	—0.021
3	96.79	96.75	+0.04	104.842	104.859	—0.017
4	112.61	112.65	—0.04	104.816	104.814	+0.002
5	97.24	97.20	+0.04	104.791	104.772	+0.019
6	112.08	112.05	+0.03	104.767	104.752	+0.015
7	97.66	97.70	—0.04	104.745	104.745	0
8	111.58	111.50	+0.08	104.725	104.701	+0.024
9	98.06	98.10	—0.04	104.707	104.686	+0.021
10	111.12	111.05	+0.07	104.687	104.689	—0.002
11	98.44	98.55	—0.11	104.670	104.686	—0.016
12	110.69	110.60	+0.09	104.655	104.677	—0.022
13	98.80	98.95	—0.15	104.641	104.673	—0.032
14	110.29	110.20	+0.09	104.628	104.639	—0.011
15	99.13	99.20	—0.07	104.616	104.596	+0.020
16	109.92	109.80	+0.12	104.606	104.602	+0.004
17	99.45	99.60	—0.15	104.597	104.598	—0.001
18	109.57	109.40	+0.17	104.590	104.589	+0.001
19	99.76	99.95	—0.19	104.584	104.611	—0.027
20	109.25	109.15	+0.10	104.579	—	—

Согласие этого расчета с наблюдением могло бы сделаться еще более полным, если бы для выражения равновесий L в формуле (а) или в уравнении «состояния весов» была взята парабола высшего (например 3-го) порядка, но я ограничился параболою 2-го порядка для того, чтобы испытать применимость такой простейшей кривой для обычных расчетов подобного рода. Оказавшееся совпадение расчета с опытом допускает ограничиться даже параболами второго порядка. В самом деле, средняя (не обращая внимания на знак) разность расчета и наблюдения для элонгаций равняется ± 0.09 div., что совпадает с тем, что точность отсчета двигающейся черты по шкале едва достигает такой величины и в ней можно допустить погрешность, по крайней мере, ± 0.15 div.

Но чтобы приблизиться к тем условиям, которые представляет действительное взвешивание, мы разобьем все 20 определений на 5 групп по 4 элонгации в каждой и найдем для этих групп L. Получим следующий ряд данных:

Элонгации	1—4*	5—8	9—12*	13—16	17—20*
Среднее время $t =$ . .	2.5	6.5	10.5	14.5	18.5
По опыту $L_t =$	104.8365	104.7485	104.6875	104.6175	104.600

Для того, чтобы показать значение уравнений «состояния», выражаемых параболами 2-го порядка (чего мы держимся далее во всех расчетах), я беру три данных, отмеченных звездочками (чрез одно), и вывожу из них:

$$L_t = 104.8957 - 0.02487t + 0.0004805t^2. \qquad (в)$$

Для промежуточных времен 6.5 и 14.5 разочтем положения равновесия по (в):

	$t = 6.5$	$t = 14.5$
	$L_t = 104.7543$	104.6361
Разность от опыта =	— 0.0058 div.	— 0.0186 div.
или	— 0.0003 мг	— 0.0009 мг.

Это ясно показывает, что, принимая во внимание изменения, совершающиеся с весами в течение времени, можно с большою вероятностью знать положение равновесия в те промежуточные времена, в которые наблюдений не производилось, что и требуется при точных взвешиваниях, чтобы сравнивать AB с BA или с $AB + r$. Если бы принимать, как обыкновенно делают, «состояние весов» неизменявшимся, то равновесие можно было бы считать определяемым лишь с точностью в первом взвешивании до $104.89 - 104.59 = 0.30$ div., а такая неточность отвечает разности веса 0.0144 мг, что раз в 15 более той погрешности, которую сделаем, выразив L параболою 2-го порядка по времени.

Ход изменений L_t по времени не всегда бывает столь правилен, как в указанных наблюдениях, произведенных при благоприятных условиях (Временник, ч. 2, стр. 178*), сочетанных в определениях Главной палаты, но и при более грубых, если можно так выразиться, переменах в «состоя-

* См. стр. 202. [*Прим. ред.*].

нии» весов все же замечается некоторая правильность, если брать небольшие периоды времени, например, протекающие при 2 промежуточных наблюдениях, как в ряде AB_1, BA_2, AB_3, BA_4, AB_5 видно для AB. Если по AB_1, AB_3 и AB_5 разочтем функцию времени, то по ней узнаем, какие равновесия имелись бы для AB во времена 2 и 4, когда произведены взвешивания BA. Это мы далее и делаем.

Таким образом, сущность предлагаемого усовершенствования в системе взвешиваний состоит в интерполяционном определении для времен t_2 и t_4 равновесий L_2 и L_4, при данной нагрузке, когда наблюдения с этою нагрузкою сделаны только во времена t_1, t_3 и t_5, среди которых стоят времена t_2 и t_4. Следовательно, предположение (гипотеза) состоит в допущении законной параболической правильности изменений L во все течение времени от t_1 до t_5. Если этот промежуток времени невелик (например, не более 1 часа, а можно его довести до 15—20 минут) и, что всего важнее, если в это время не будет происходить никаких изменений внешних влияний (на весы), нарушающих равновесия (например, неравномерного нагревания и освещения, токов воздуха, колебания устоев и тому подобного), или если они будут доведены до возможного minimum'а, то приложимость гипотезы и ее законность кажутся ясными без дальнейших доказательств. Расширять гипотезу, т. е. брать более долгие промежутки времени, например, находить закон изменения равновесий в период 10 или более взвешиваний, я считаю столь же рискованным, как и сокращать ее, предполагая, что изменения совершаются прямолинейно или пропорционально времени. В долгий период времени влияния, изменяющие равновесие, могут сочетаться в очень сложную функцию, нахождение которой, кроме всего прочего, потребует сложных расчетов, тогда как расчет по параболе 2-го порядка прост, и суммою таких парабол можно приблизиться, как известно, к сплошной кривой какого угодно очертания. Что же касается до сокращения времени, т. е. до замены параболы двумя прямыми, то их расчет не будет проще, а если в промежутке будет наибольшая или наименьшая величина равновесия, как это часто замечается в системах взвешиваний, то может привести к крупным неправильностям. Пусть, например, $L_1 = 100$, $L_3 = 95$, а $L_5 = 105$. Очевидно, что между L_1 и L_5 лежит наименьшее значение, которое может быть около L_2 или около L_4. Если разности времени одинаковы, то по указанным данным парабола $L_t = 100 - 6.25\ (t-1) + 1.875\ (t-1)^2$

показывает, что minimum лежит при $t=2.67$ и что при $t=2$ $L_2=95.625$, а вовсе не равно средней величине между L_1 и L_3, как следовало бы при допущении прямолинейного изменения равновесий. На основании подобных соображений, простое среднее между двумя последовательно найденными равновесиями L_1 и L_3 дает равновесие L_2 для промежуточного времени, только в приближении, гораздо более грубом, чем при расчете по параболе. В отношении же распределения единичных взвешиваний системы чрез равные промежутки времени должно заметить, что это очень упрощает расчеты, но не всегда возможно, потому что в промежутках между взвешиваниями должно совершить такие действия, которые могут занимать не одинаковые времена (например, перемену грузов из AB в BA или обратно, добавку груза r для определения чувствительности и тому подобного), а напрасное удлинение промежутков удлиняет время выполнения работы взвешивания и делает менее достоверными параболические уравнения состояния. В этом отношении весы Неметца, в Вене,* с устройством механизмов, назначенных для перемены грузов, определения чувствительности и арретирования, представляют пред всеми иными много преимуществ, потому что допускают очень скорое совершение всех указанных операций.

Тем не менее указанный способ средних (и его варианты), по его простоте можно рекомендовать для улучшения результата взвешиваний, когда не требуется достижения всей возможной точности. Пример приложения этого способа дан в моей статье, помещенной во 2-й части «Временника», на стр. 185,** а пример равных промежутков времени разобран в конце статьи.

Для того, чтобы выяснить подробности приложения предлагаемого способа ко взвешиваниям, возьмем сперва фиктивный пример, недалекий от обыкновенной действительности, но с явно выраженным изменением всех отношений.

Для большего упрощения не станем останавливаться над отдельными элонгациями, а прямо обратимся к выведенным равновесиям, считая, что равновесия L_i относятся к средним временам t_i, за начало которых ($t=0$) считаем средину времени первого взвешивания. Пусть $A=1$ кг

---

* Речь идет, как и ранее, о весах фирмы Неметца, находившейся в Вене. См. стр. 201. [*Прим. ред.*].

** См. стр. 211. [*Прим ред.*].

и $B = A + x$, т. е. B тяжелее A. Деления шкалы здесь приняты вполне одинаковыми. Добавочный груз r примем равным 0.2 мг, n близким к 0.050 мг (т. е. на 1 мг около 20 делений шкалы). Систему представим, для примера, содержащею 9 взвешиваний, давших следующие равновесия L_t.

Среднее время взвешивания, в минутах	Грузы		Результат наблюдения колебаний: деление шкалы, отвечающее равновесию
	левый	правый	
$t_1 = 0$	AB		$L_1 = 100.0$
$t_2 = 8.5$	$A + 0.2$ мг	B	$L_2 = 103.86$[1]
$t_3 = 20.0$	AB		$L_3 = 99.63$
$t_4 = 27.3$	BA		$L_4 = 102.73$
$t_5 = 38.0$	AB		$L_5 = 99.38$
$t_6 = 49.1$	BA		$L_6 = 103.80$
$t_7 = 58.0$	AB		$L_7 = 101.55$
$t_8 = 66.2$	$A + 0.2$ мг	B	$L_8 = 105.975$
$t_9 = 75.0$	AB		$L_9 = 101.96$

Существование изменений равновесия яснее всего видно из того, что равновесие, отвечающее взвешиванию AB, повторенному 5 раз, значительно меняется при перемене t, а именно сперва падает, потом повышается. Взяв три первые данные для AB, а именно L_1, L_3 и L_5, находим, принимая t за переменную:

$$L_t = 100.00 - 0.02082t + 0.000116t^2. \qquad (1)$$

А отсюда для времени второго взвешивания $t_2 = 8.5$ нагрузке AB отвечает $L = 99.82$ (почти среднее между L_1 и L_3). Следовательно, из $L_2 = 103.86$ и этого данного для того же времени заключаем, что 0.2 мг отвечают 4.04 div. (а из L_1 и L_2 заключили бы $= 3.86$ div., из L_2 и $L_3 = 4.23$), т. е. $n = \frac{0.2}{4.04} = 0.04950$ мг. Точно так же, с другого конца, т. е. из L_9, L_7 и L_5, считая их переменными (по $75 - t$), выводим для AB

$$L_t = 101.96 + 0.00616\ (75 - t) - 0.00178\ (75 - t)^2. \qquad (2)$$

---

[1] Очевидно, что деления идут слева направо, т. е. прибавка груза на левую чашку увеличивает показания шкалы.

Отсюда для $t_8 = 66.2$ равновесие $AB = 101.954$ (а среднее между L_7 и $L_9 = 101.755$), следовательно (по L_8) $n = \frac{0.2}{105.975 - 101.954} = 0.04974$. Принимается, конечно, средняя чувствительность, $n = 0.04962$, и этот вывод, конечно, точнее, чем вывод по общепринятому способу простого сличения, например, L_1 с L_2 или L_7 с L_8.

Зная «чувствительность», теперь можем приступить к нахождению отношения между грузами A и B. Для нахождения AB берем L_3, L_5 и L_7, они дают:[1]

$$L_t = 99.63 - 0.07186\ (t - 20) + 0.00322\ (t - 20)^2. \qquad (3)$$

Это и есть одно из уравнений «состояния» весов или времени.[2] Для нахождения отношения A к B я беру для AB только эти выводы, полученные по (3). Замечу, однако, что из (1) для t_4 получается для AB равновесие 99.52, а из (3) — 99.28. Далее я пользуюсь лишь последним выводом. Подобное же различие иногда, хотя редко, встречается в действительности. Во взятом фиктивном примере нарочно избран случай, где указанное обстоятельство выступает. Беря для расчета лишь данные из (3), я руковожусь тем, что нам надо найти какое было бы L для нагрузки AB во время

---

[1] Чтобы сделать очевидною легкость требующихся расчетов, выписываю способ вычисления.

Для L_3 значение $t - 20 = 0$, а потому в формуле

$$L_t = A + B\ (t - 20) + C\ (t - 20)^2.$$

$A = L_3 = 99.63$. Для L_5 имеем

$$\frac{L_5 - L_3}{t_5 - 20} = \frac{-0.25}{18} = -0.0139 = B + C18. \qquad (1)$$

Для L_7 получаем

$$\frac{L_7 - L_3}{t_7 - 20} = \frac{1.92}{38} = +0.0505 - B + C38. \qquad (2)$$

Вычитая (1) из (2): $0.0644 = C20$, отсюда $C = 0.00322$, а затем из (1) получаем $B = 0.07186$, что и дает (3).

[2] Может показаться на первый взгляд, что изменение «состояния» весов лучше изображать переменою положения нуля, т. е. того равновесия, которое отвечает полному равенству грузов на обеих чашках. Это положение нуля легко находится, если известны равновесия при грузах AB и BA, потому что их полусумма отвечает равенству грузов. Но на практике нельзя наблюдать этого нуля и за его изменениями следить нельзя, а получить о них понятие можно, узнав из перемен AB то равновесие, которое отвечает времени взвешивания грузов BA. Так, в нашем примере при $t_4 = 27.3$ мин. $AB = 99.28$, а $BA = 102.73$, следо-

t_4 и t_6, а об этом естественнее судить по данным, полученным для ближайших времен t_3, t_5 и t_7, чем пользоваться выводами, полученными, принимая во внимание более удаленные времена t_1 и t_9. Итак, принимаем, что во время t_4 равновесие AB будет = 99.28 деления. А так как в то же время BA дает равновесие 102.73, то по (XII bis)

$$B = A + \left(\frac{102.73 - 99.28}{2}\right) n = A + 0.0856 \text{ мг.}$$

Точно так же для t_6 получаем $L = 100.27$ и

$$B = A + \frac{103.80 - 100.27}{2} n = A + 0.0876 \text{ мг.}$$

Принять следует, конечно, среднее:

$$B = A + 0.0866 \text{ мг.}$$

Чрез повторение подобных определений получается убеждение в том, что указанный путь приводит к более достоверным выводам, чем другие способы, до сих пор применявшиеся.

В виде реального примера возьмем одно, случайно избранное, полное взвешивание, произведенное в Главной палате 27 мая 1895 г. В. Д. Сапожниковым (лист 97, первые 7 взвешиваний) и Ф. П. Завадским (лист 98) при сличении фунтовых гирь, находящихся в работе — при пригонке к истинному весу, так что вес A и B около 409.6 г. При этом записаны времена (начиная с 12 час. 19 мин., которые далее означены чрез $t = 0$) начала не всех 14 взвешиваний, а только 6 (они отмечены *), остальные времена разочтены по пропорции, весы Nemetz'a; $r = 1.02171$ мг, $r_1 = 1.00911$ мг:[1]

вательно нуль в это время лежал около $\frac{1}{2}(99.28 + 102.73)$, или при 101.005 деления шкалы, во время же $t_6 = 49.1$, так как тогда $AB = 100.27$ и $BA = 103.80$, он находился при 102.035 деления шкалы. Уравнение времени для нуля, очевидно, нельзя вывести иначе, как зная уравнение времени для AB или для него и для BA. Поэтому я вовсе не ввожу в свое рассмотрение никаких сведений о положении нуля шкалы. Понятие о нем только усложнило бы разбор предмета.

[1] Из того, что излагается далее, станет очевидным, что ныне в Главной палате применяются системы, более рациональные, чем разбираемая, по типу которой собирались первые, предварительные наблюдения.

	Время, в минутах t_i	Нагрузка чашек, лев. прав.	Наблюденные элонгации				Равновесие по (X)		Среднее принятое L_i
			l_1	l_2	l_3	l_4	из l_1, l_2, l_3	из l_2, l_3, l_4	
1)	0*	AB	214.35	197.8	213.55	198.6	205.870	205.880	205.875
2)	3.3	$AB + r$	269.3	204.4	265.7	208.0	235.924	235.977	235.951
3)	6.6	AB	216.9	194.9	215.25	195.9	205.472	205.441	205.456
4)	10*	BA	233.0	198.4	231.0	200.1	215.185	215.136	215.161
5)	14.3	AB	215.1	196.4	213.95	197.3	205.450	205.406	205.428
6)	18.6	BA	231.75	199.25	229.9	201.0	215.024	215.025	215.025
7)	23*	AB	218.5	194.8	216.95	195.95	206.249	206.170	206.210
8)	27*	AB	213.75	198.6	212.95	199.4	205.944	205.956	205.950
9)	31	BA	234.55	197.4	232.6	199.3	215.474	215.438	215.456
10)	35	AB	217.9	198.35	216.75	199.4	207.829	207.820	207.825
11)	39*	BA	235.7	199.3	233.45	201.25	216.919	216.877	216.898
12)	42.3	AB	220.8	193.7	219.2	195.05	206.838	206.796	206.817
13)	45.6	$A + r_1 B$	165.1	197.25	166.7	194.95	181.585	181.377	181.481
14)	49	AB	220.4	194.75	219.0	196.0	207.215	207.196	207.206

Для того чтобы найти равновесие L без предварительного знания C (убыли размахов) и подробнее расследовать рассматриваемое взвешивание, в таблице даны, по формуле (X), величины L, отвечающие в данном взвешивании временам l_2 и l_3. Величина L_1 (разочтенная из l_1, l_2, l_3) отличается от L_2 (из l_2, l_3, l_4) при столь малых размахах, как здесь, преимущественно по причине неизбежных погрешностей отсчетов. Между разностями $L_1 - L_2$ преобладают положительные (т. е. L_1 более L_2), сумма их $= 0.529$, а сумма отрицательных $= -0.075$, хотя с весами совершались преимущественно изменения такого характера, что начальные равновесия были ниже последующих. Так, для AB из 205.5 они достигли до 207.8, для BA из 215.2 до 216.9. Это показывает, что в различии L_1 и L_2 преобладают погрешности отсчетов. Но в них содержатся и указания на общий ход изменений, совершающихся с весами, как видно из того, что когда началось, с 10-го взвешивания, падение равновесий (сравнить 10 с 12), все L_1 более L_2. Общее среднее $\left[\text{квадратическое, т. е. } \sqrt{\frac{1}{14}\sum (L_1 - L_2)^2}\right]$ всех разностей $L_1 - L_2$ не превосходит ± 0.070 div., а отсчет подразделений по шкале производился наглаз, что и дает повод ждать в отсчете погрешностей от 0.15 до 0.05 div., т. е. именно в среднем размере разностей $L_1 - L_2$. На основании этого должно думать, что в средних величинах L, данных в последнем столбце, большинство погрешностей отсчетов уничтожилось.

По этой причине для дальнейших выводов должно пользоваться только средними L_i, данными в последнем столбце.[1]

Взвешивание AB повторено 8 раз и ясно показывает, что от $t_1 = 0$ до $t_5 = 14.3$ величина L уменьшается от 205.9

---

[1] Замечу при этом, что когда размахи малы, как в большинстве случаев в рассматриваемых взвешиваниях, тогда, повидимому, нет особой пользы прибегать к расчету по формуле (X), а из их элонгаций получится достаточно точный вывод при пользовании формулою (II). Так, например, она для 1-го взвешивания дает 205.900, а среднее, разочтенное по (X), $= 205.875$, но иногда, когда в наблюденных отсчетах есть довольно явные погрешности или происходит быстрое изменение «состояния» весов, тогда замечаются более ощутимые разности, например, для 3-го взвешивания, по (II), $L = 205.406$, а среднее по (X) $L = 205.456$. Поэтому, как общее правило, можно принять, что при наиболее точных наблюдениях следует вести расчет L по (X), а из двух получаемых (при 4 отсчетах) брать среднее, различие же двух L покажет, с одной стороны, среднюю погрешность отсчетов, а с другой — меру изменения L в течение одного размаха.

до 205.4, а затем быстро возрастает до $t_{10}=35$, когда L становится равным 207.8, затем вновь слабо падает. Особо поучительно, для убеждения в необходимости принять во внимание уравнение «времени» или «состояния», то обстоятельство, что быстрое возрастание L, замечаемое для AB, повторяется в ту же эпоху времени для взвешивания BA, которое повторено 4 раза и представляет от $t_4=10$ сперва небольшое падение до $t_6=18.6$, а затем быстрое возрастание от 215.0 до 216.9, именно в эпоху от $t_6=18.6$ до $t_{11}=39$. Это совпадение падений и возрастаний L_t для AB и BA изображено графически[1] на прилагаемом чертеже (рис. 1). На нем ясно, что во время от 10 до 40 мин. с весами совершилась перемена такого рода, что она довольно однообразно отразилась как на взвешиваниях AB, так и на взвешиваниях BA.[2]

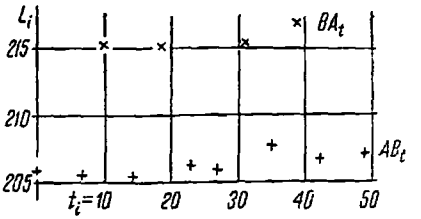


Рис. 1. По оси абсцисс отложены времена (минуты), а по оси ординат равновесия L по шкале, при грузах BA и AB.

Обращаясь к определению n, заметим, прежде всего, что при 2-м взвешивании добавочный груз был положен к B направо, а при 13-м взвешивании к A на левую чашку (что на весах Неметца возможно), так что L в первом случае получалось более, чем при AB (здесь деления идут справа налево, так как прибавка груза на правой чашке увеличивает показание шкалы), а во втором — менее, чем при AB. Это ведет к тому, что, несмотря на некоторую неправильность положения шкалы этих весов, средняя

---

[1] Для того, чтобы сделать сличения наглядными, масштаб этого чертежа должно привести к тому же, как и чертежей 4—7, относящихся к взвешиваниям, произведенным в Международном бюро. При сравнении чертежей видна степень параллелизма кривых AB_t и BA_t, а она определяет, в значительной мере, степень точности вывода $A-B=x$.

[2] Так как взвешивание, случайно взятое нами для примера, относится к числу предварительных, т. е. таких, в которых еще не введены все те приемы, при помощи которых точность может доводиться до крайних пределов, то при нем не обращено было большого внимания на запись времени, и я думаю, судя по форме кривых AB и BA, что в определении времен, принятых в расчете, содержатся довольно значительные погрешности, особенно потому, что minimum'ы в AB и BA не совпадают.

чувствительность должна выйти соответствующею тем делениям шкалы, которые определяют L при AB. Из взвешиваний 1, 3 и 5 получаем 2 уравнения «состояния» для AB:

$$(AB,\ t\,0-14\ \text{м})\ L_t = 205.875 - 0.0912t + 0.0042t^2. \qquad (1)$$

Отсюда при $t_2 = 3.3$ для AB $L = 205.620$, но в то же время для $AB + 1.02171$ мг $L = 235.951$ div., отсюда $n = 0.03369$ мг для среднего $L = 220.8$. Точно так же для другого конца:

$$(AB, t\,35-49)\ L_t = 207.825 - 0.2323\,(t-35) + \\ + 0.0121\,(t-35)^2. \qquad (2)$$

Отсюда для AB при $t = 45.6$ $L = 206.722$, а так как в то же время $A + 1.00911$ мг $B = 181.481$, то $n = 0.03998$ мг для среднего $L = 194.1$. Считая, что деления шкалы возрастают правильно (справа налево), получим, в миллиграммах:

$$n = 0.03859 - 0.0002356\ (L - 200), \qquad (3)$$

что должно быть близко к истине для L от 190 до 220,[1] т. е. для тех L_1, которые отвечают AB и BA. Для определения разности взвешиваний AB и BA в этой системе имеется много способов, потому что то и другое взвешивание повторялось несколько раз. Сперва мы пойдем путем отыскания уравнений состояния AB по трем ближайшим L. Из 3, 5 и 7-го взвешиваний получаем

$$(AB,\ t\,7-23)\ L_t = 205.456 - 0.04755\ (t-6.6) + \\ + 0.005703\ (t-6.6)^2. \qquad (4)$$

---

[1] При других подобных определениях для весов Неметца всегда получается приближенно $n = 0.038 - 0.00015\ (L - 200)$. Это можно объяснить, допустив, что угловая величина делений при возрастании нумерации шкалы уменьшается так, что расстояние от 154.2 до 165.8 равно расстоянию от 235.8 до 244.2, или расстоянию между 195 и 205 делениями, т. е., приняв длину 1 деления при 200 за норму или 1, получим, что при 160 делениях длина = 1.16, а при 240 равна 0.84. На основании этого можно составить таблицу поправок для кажущихся делений шкалы, как о том говорится далее. Считаю необходимым заметить, что в августе 1895 г. Ф. П. Завадский и В. Д. Сапожников переменили в весах Неметца как установку шкалы, так и отражающие зеркала, заменив их призмами, и тогда показания шкалы стали более правильными, но пред организациею окончательных взвешиваний все же шкала будет вновь выверена (калибрована) по способу, упоминаемому в дальнейшем изложении.

Отсюда [для] AB, при $t=10$, равновесие $L=205.360$, а в то же время $BA=215.161$, откуда $A=B+\frac{1}{2}(215.161-205.360)=$ $=B+4.900$ div., при среднем $L=210.26$. Из того же уравнения (4) для AB, при $t=18.6$, $L=205.707$, а тогда $BA=$ $=215.025$, следовательно, $A=B+4.659$ div., при среднем $L=210.36$.

Из 8, 10 и 12-го взвешиваний для AB получаем уравнение:

$$(AB,\ t\,27-42)\,L_t=205.950+0.4291\ (t-27)-$$
$$-0.02434\ (t-27)^2. \qquad (5)$$

Отсюда для AB, при $t=31$, $L=207.277$, а тогда $BA=$ $=215.456$, следовательно, $A=B+4.090$ div., при среднем $L=211.36$. Из того же уравнения (5) для AB, при $t=39$, $L=207.594$, но тогда $BA=216.898$, следовательно, $A=B+$ $+4.652$ div., при среднем $L=212.25$.

Эти четыре сравнения дают:

$A=B+4.900$	div.	при	$L=210.26$
» » » $+4.659$	»	»	» » 210.36
» » » $+4.090$	»	»	» » 210.36
» » » $+4.652$	»	»	» » 212.25

Среднее . . $A=B+4.575$ div. при $L=211.06$

А так как при $L=211.06$ значение 1 div. или $n=0.03598$ мг (по уравнению 3), то средний результат по этому приему дает

$$A=B+0.1646 \text{ мг.}$$

Но к этим равенствам, для возможного устранения всяких неизбежных погрешностей (отсчета и расчета), полезно присоединить еще такое же их число, составив уравнения «состояния» для BA. Из 4, 6 и 9-го взвешиваний для BA имеем:

$$(BA,\ t\,10-31\ \text{м})\,L_t=215.161-0.03652\ (t-10)+$$
$$+0.002408\ (t-10)^2. \qquad (6)$$

Из 6, 9 и 11-го взвешиваний для BA имеем:

$$(BA,\ t\,19-39)\,L_t=215.025-0.05366\ (t-18.6)+$$
$$+0.007131\ (t-18.6).^2 \qquad (7)$$

Для $t=14.3$ при грузе AB равновесие $=205.428$, а для того же времени, по (6), нагрузке BA отвечает $L=215.048$, откуда $A=B+4.810$ div., при среднем $L=210.24$. Для $t=23$, по (6), $L=215.093$, а по (7) $=214.927$, принимаем среднее для BA $L=215.010$, а так как в то же время ($t=23$) $AB=206.210$, то выводим $A=B+4.400$ div., при среднем $L=210.61$. Точно так же для $t=27$, по (6), $L=215.236$, по (7), $L=215.078$,[1] среднее для BA и $t=27$ получится 215.157, а в то же время для AB равновесие $L=205.950$, следовательно: $A=B+4.603$ div., при среднем $L=210.55$. Наконец, для $t=35$, по (7), для BA получаем $L=216.063$, а так как для $t=35$, грузам AB отвечает $L=207.825$, то $A=B+4.119$ div., при среднем $L=211.94$. Сводя эти четыре вывода, получаем:

$A=B+4.810$	div.	при	$L=210.24$
» » » $+4.400$	»	»	» » 210.61
» » » $+4.603$	»	»	» » 210.55
» » » $+4.119$	»	»	» » 211.94
Среднее . . $A=B+4.483$	div.	при	$L=210.83$

При $L=210.83$, по (3), $n=0.03604$ мг, а потому

$$A=B+0.1616 \text{ мг.}$$

Сравнивая с предшествующим выводом

$$A=B+0.1646 \text{ мг,}$$

видим, что разность сводится лишь на тысячные доли миллиграмма. Общий средний вывод

$$A=B+0.1631 \text{ мг}$$

должно считать гораздо более достоверным, чем прямой вывод по средним (AB из 3, 5, 7, 8, 10 и $12=206.281$ и BA из 4, 6, 9 и $10=215.635$, т. е. $A=B+4.677$ div.), который даст $A=B+0.1723$ мг (потому что среднее $n=0.036835$ мг). Разность такого вывода от более точного достигает здесь 0.0092 мг, в других же случаях составляет иногда и несколько сотых миллиграмма, а потому при наиболее точных взвешиваниях тот труд, который сопряжен с более сложным расчетом, т. е. с отысканием уравнений «состояния» весов,

[1] Разности, подобные здесь встречающимся, очевидно, определяются преимущественно погрешностями отсчетов, которые, однако, в общих средних выводах должны почти уничтожаться.

вознаграждается большею вероятностью результата и чрез это сокращает число необходимых повторений, притом и весь расчет вывода очень упрощается: 1) когда промежутки времени между единичными взвешиваниями делаются одинаковыми и 2) когда при этом вместо многих отдельных разностей $AB_t - BA_t$ рассчитывается сразу одна разность площадей, ограниченных параболами AB_t и BA_t, как это будет далее показано в примерах.

На основании указанных наблюдений, соображений и приемов, я составил следующий общий план для возможно точных взвешиваний, когда сравниваются грузы A и B и находится их разность $A - B = x$.

1) Преимущественное старание должно направить на то, чтобы устранить всякие посторонние влияния на весы, особенно же боковые, т. е. действующие на одно из плеч коромысла. К числу таких влияний, несомненно, относятся всякие источники света и тепла. Поэтому, если что-либо приходится лично совершать около самих весов (например, центрирование груза на чашках, замену одних добавочных грузов другими, перестановку гирь с одной подставки на другую и тому подобное), необходимо после того оставить весы с нагрузкою в покое на несколько часов до начала взвешиваний. Источники света, служащие для освещения шкалы, не только должны быть по возможности удалены от весов, но и расположены симметрично в отношении к коромыслу, отделены от него металлическими (распределяющими равномерно) и иными экранами и зажигаемы за некоторое время до начала взвешиваний, чтобы тепло их успело распределиться с возможною равномерностью. Опыт показывает, что немногие прямые лучи от небольшой электрической лампы, отстоящей на несколько метров от коромысла, попадая в весовой шкаф, явно уже содействуют быстрым переменам в «состоянии» весов. Наилучшие результаты могут получаться только тогда, когда в данной системе взвешивания все небольшие и неизбежные на деле изменения весов совершаются с постепенностью и правильностью, так что одно уравнение «состояния» становится применимым к значительному числу следующих друг за другом взвешиваний.[1]

[1] Исследуя сделанные до сих пор в Главной палате взвешивания, я пробовал находить одно общее выражение изменения «состояния» весов; например если для данных времен

$$AB_t = L_1 + at + bt^2, \quad BA_t = L_2 + a_1 t + b_1 t^2,$$

2) Пред производством наиболее точных взвешиваний не только весы должны быть по возможности выверены в обычном смысле (например, средняя площадка, на которой покоится средняя призма весов, установлена горизонтально, длина плеч и их моменты по возможности уравнены, чувствительность доведена до желаемой меры и тому подобное), но и необходимо выверить кажущиеся в трубу деления шкалы[1] в отношении их равенства, так как при косвенном положении шкалы или при неправильности в положении отражающих (зеркала) и преломляющих (стекла в ящике весов и в отсчетной трубе) средин, при помощи которых производится отсчет, равные деления шкалы будут казаться убывающими к одному концу и прибывающими к другому концу шкалы. Так как исправление подобного, очень обыкновенного, недостатка весов, при помощи улучшения установки шкалы, не всегда удается (ибо часть неправильностей зависит часто от установки зеркала или призмы на коромысле весов и тому подобное), то должно составить таблицу поправок показаний шкалы, чтобы по сделанным отсчетам знать истинный отсчет шкалы l, который один и должен входить во все дальнейшие расчеты, что особо важно при определении чувствительности, которое входит в полную систему всякого точного взвешивания. При составлении таблицы такой исправленной шкалы, очевидно, должно избрать какое-либо деление, при котором шкалы совпадают, т. е. $l_0 = s_0$. Лучше всего для этого избрать одно из средних главных делений, близкое к положению так называемого нуля шкалы, отвечающего равенству нагрузок и моментов, например, в весах Неметца в Главной палате (стр. 266) принять $l_0 = s_0 = 200$, а в весах Рупрехта 100. Это условие доставляет одно из уравнений, необходимых для составления таблицы поправок. Допустив это совпадение, для возможности

то можно найти среднее изменение, даже прямо взяв средние из a и a_1, из b и b_1. Но этот и разные другие способы подобных расчетов уменьшают вероятность среднего вывода сравнительно с тем, чего можно достичь принятыми мною способами. Таким образом, после многих проб, я убедился, что кривые AB_t и BA_t в хороших взвешиваниях сходственны, но брать из них среднюю кривую — значит портить вывод. Притом те способы, которыми ведутся все наши расчеты, относящиеся к «состоянию» весов, отличаются наглядностью, и в этом отношении только при дальнейших успехах дела могут потребоваться новые, более совершенные способы расчета.

[1] Простая выверка делений самой шкалы, если в ней, как обыкновенно, нет грубых погрешностей, ничего не дает. Отсчет ведется по видимому в трубу отраженному изображению шкалы, и выверять следует его одно.

простого решения задачи, очевидно, должно допустить, что новою однообразною единицею для делений шкалы должно служить среднее же деление шкалы около l_0 или s_0, т. е. $\frac{dl}{ds}$ принять при s_0 равным единице. Это дает второе уравнение, если мы выразим l как функцию s (s кажущееся деление шкалы, l исправленное), т. е. примем:

$$l_i = A + Bs_i + Cs_i^2 + Ds_i^3 + \ldots \qquad \text{(а)}$$

$$dl/ds = B + 2Cs + \ldots$$

Чтобы найти параметры A, B, C, ..., должно, сверх того, калибровать изображение шкалы, применяя неизменные мерки. Для этого может служить расстояние между двумя нитями, равно удаленными от центра, в окуляре отсчетной трубы, если она снабжена окулярною сетью паутин (или окулярным микрометром), а при отсутствии такого приспособления, изображение другой шкалы, видимое чрез те же оптические приборы и налегающее на изображение отсчетной шкалы. Можно, конечно, измерять угловое расстояние известных делений s_i от s_0, но это сложнее и требует выверенного окулярного микрометра. Проще поступать так: некоторым определенным расстоянием добавочной шкалы и тем или иным расстоянием двух нитей окуляра измерять кажущиеся отсчеты шкалы в разных ее местах, заставляя при помощи грузов и арретира коромысло весов принимать разные положения. Очевидно, что эти расстояния, наблюденные по шкале s, будут представлять на истинной шкале равные (но неизвестные) разности делений l. Допустим, что таких измерений сделано два: одно в левой части шкалы от s_1 до s_2 и одно с правого конца шкалы от s_3 до s_4. Это наблюдение дает еще одно уравнение для составления таблицы поправок и позволяет определить по (а) три постоянных A, B, C.

Таким образом составляются следующие равенства: Вообще:

$$l_i = A + Bs_i + Cs_i^2, \qquad \text{(б)}$$

а, в частности:

$$1)\ l_0 = A + Bs_0 + Cs_0^2, \qquad \text{(в)}$$

$$2)\ 1 = B + 2Cs_0, \qquad \text{(г)}$$

$$3)\ B(s_1 - s_2) + C(s_1^2 - s_2^2) = B(s_3 - s_4) + C(s_3^2 - s_4^2); \qquad \text{(д)}$$

из этих трех уравнений определятся A, B и C. Например, пусть дано (как на стр. 270, выноска 1) из опыта, что $s_1 = 244.2$, $s_2 = 235.8$, $s_3 = 165.8$ и $s_4 = 154.2$, и примем, что $s_0 = l_0 = 200$. Три уравнения будут:

$$1)\ 200 = A + B\,200 + C(200)^2,$$

$$2)\ 1 = B + C\,400,$$

$$3)\ B\,8.4 + C\,4032 = B\,11.6 + C\,3712.$$

Откуда находим: $A = 80$, $B = 0.2$, $C = 0.002$. По уравнению

$$C_i = 80 + 0.2\,s_i + 0.002\,s_i^2$$

составляется таблица:

Кажущиеся деления s_i	=140	170	200	230	260
Истинные деления l_i	=147.2	171.8	200	231.8	267.2
Поправка $l_i - s_i$	=+7.2	+1.8	0	+1.8	+7.2

При указанных условиях всегда поправка направо и налево от s_0 будет одна и та же. Для доказательства определим поправку (т. е. то, что должно придать к s_i, чтобы получить l_i).

Так как из уравнений (г) и (в)

$$s_0 = A + (1 - 2Cs_0)\,s_0 + Cs_0^2,$$

то, определив отсюда A, по (б) и (г), имеем

$$l_i = s_0 - (1 - 2Cs_0)\,s_0 - Cs_0^2 + (1 - 2Cs_0)\,s_i + Cs_i^2,$$

откуда $l_i - s_i = C\,(s_0 - s_i)^2$, т. е. поправка шкалы $(l_i - s_i)$ не зависит от знака разности $s_0 - s_i$, а зависит только от ее абсолютной величины. Поэтому такую поправку можно назвать «симметрическою». Это облегчает расчет поправок и в большинстве случаев должно быть достаточно для приведения кажущихся делений шкалы s_i к истинным l_i. Если же по опыту (взяв различные области или части шкалы) окажется, что такой способ исправления шкалы недостаточен, вследствие накопления разных погрешностей в показании шкалы или ее неправильного деления, тогда должно прибегнуть к полной калибрации всех делений шкалы, хотя здесь и будет в обычных случаях достаточно немногих сравнений одною мерою, например, двумя нитями окуляра: от s_0 до s_1, от s_2 до s_3 и от s_3 до s_4. Если положить $s_0 = l_0$ и $s_4 = l_4$, получится поправка для s_1, s_2 и s_3, что совершенно достаточно для небольшого размера шкалы и для той степени точности, какой можно достигать при записи элонгаций весовых колебаний. Пусть, например, получатся

отсчеты на двух нитях окуляра: от 106.0 до 130.2, от 130.2 до 153.9, от 153.9 до 176.8 и от 176.8 до 200.0. Если деления 106 и 200 сохранить (для них $s=l$), то $^1/_4$ этого расстояния $=$ 23.5 деления неправильной шкалы, следовательно:

$s=$	106.0	130.2	153.9	176.8	200.0
$l=$	106.0	129.5	153.0	176.5	200.0
Поправка $l-s=$	0	—0.7	—0.9	—0.3	0

Для промежуточных делений должно принять промежуточные, пропорциональные поправки. Однако, я полагаю, что в большинстве случаев будет достаточно вышеупомянутой (симметрической от s_0) поправки.

Если же поправка «симметрична» и s_0 совпадает с равновесием L, то очевидно, что отсчеты по s дадут то же L, как и по исправленным показаниям шкалы l. Спрашивается, что будет, если L не совпадает с s_0? Положим для простоты соображений, что расчет ведется по 3 элонгациям, s_1, s_2, s_3, и принято определять равновесие по формуле $\frac{1}{4}(s_1+2s_2+s_3)$, а $l=A+Bs_i+Cs_i^2$. Предположим, что все элонгации лежат по одну сторону от s_0 (это наиболее невыгодное их положение), т. е. все a положительны, и означим чрез a_1 разность s_0-s_1, чрез a_2 [разность] s_0-s_2 и чрез a_3 разность s_0-s_3. Поэтому $l_1=s_1+a_1^2C$ и так далее. Поэтому истинное равновесие $L=\frac{1}{4}(l_1+2l_2+l_3)=\frac{1}{4}(s_1+2s_2+s_3)+\frac{C}{4}(a_1^2+2a_2^2+a_3^2)$. Если бы расчесть равновесие прямо по показаниям шкалы и полученный вывод исправить на шкалу, то получилось бы $\frac{1}{4}(s_1+2s_2+s_3)+\frac{C}{4}(a_1+2a_2+a_3)^2$. Разность этого числа от истинного $\frac{C}{2}[a_1(a_2+a_3)+a_2(a_1+a_3)+a_2(a_2+a_3)]$.

Разность эта очень велика, а потому *все наблюдаемые показания шкалы s_i должны быть исправлены, т. е. переведены в l_i ранее расчета равновесия L.* Особенно же велика будет погрешность от неточности шкалы при определении чувствительности весов. Поэтому в дальнейшем изложении мы станем предполагать, что все показания шкалы уже исправлены в отношении к неточностям кажущихся делений шкалы при помощи таблицы поправок или калибрации шкалы.[1]

---

[1] Поправку этого рода, сколько мне известно, доныне не производили, и я убежден, что ее введение окажет немалое влияние на точность результатов метрологических взвешиваний.

3) В каждом единичном взвешивании должно наблюдать не более 4 элонгаций, а вывод делать из 3 по (X):

$$L_1 = \frac{1}{4}\left(l_1 + 2l_2 + l_3 - \frac{(l_1 - l_3)^2}{l_1 - 2l_2 + l_3}\right),$$

$$L_2 = \frac{1}{4}\left(l_2 + 2l_3 + l_4 - \frac{(l_2 - l_4)^2}{l_2 - 2l_3 + l_4}\right).$$

Среднее из L_1 и L_2 даст искомое L_t, относящееся ко времени, среднему между l_2 и l_3. Сличение L_1 с L_2 поучительно, но для сокращения времени всей системы взвешиваний и для более точного нахождения функции времени или изменения «состояния» весов должно стремиться к уменьшению числа наблюдаемых элонгаций до двух, определяя L по (IX),

$$L = \frac{Cl_2 + l_1}{C + 1},$$

для чего могут служить определения C, произведенные после выполнения всех взвешиваний системы. Повторенный опыт может решить, что выгоднее для получения наиболее согласных результатов: наблюдение ли 4, 3 или только 2 элонгаций, так как при этих способах погрешности отсчетов входят в различной мере.[1]

После записи одной из элонгаций, например после 2-й, следует отметить время t, по возможности в момент прохождения чрез точку шкалы, близкую к средине колебаний, которая будет уже очевидна, если запись 2 элонгаций сделана. Если запись времени будет сделана после 3-й или 4-й элонгации, то, вычитая время одного или двух размахов, узнаем время, среднее между l_2 и l_3, которое и будет средним временем взвешивания, когда наблюдаются 4 элонгации. Для сокращения и упрощения всякого рода расчетов, сопряженных с отысканием уравнений «состояния» весов и с нахо-

---

[1] Погрешность отсчета, в среднем, едва ли может производить в L разности, бо́льшие ± 0.2 div., даже при отсчете 2 элонгаций, в период же времени от одного до другого, рядом стоящего, взвешивания, содержащего 4 l, разность L редко бывает менее ± 0.5 div., (во взвешиваниях же Международного бюро редко менее 1 div.), а потому, я думаю, что опыт даст наиболее согласные (при повторении) результаты при определении лишь 2 элонгаций, особенно с такими весами, в которых промежуточные действия (смена грузов AB в BA и наложение r) занимают малое время. С весами Рупрехта эти промежуточные действия занимают более времени, чем требуется для отсчета 4 элонгаций, для весов Неметца это время короче.

ждением отвечающих им равновесий для промежуточных взвешиваний, весьма полезно достигать того, чтобы промежутки между взвешиваниями были одинаковы, если практические условия не представят к тому больших препятствий.[1]

4) Прибавкою к A или B небольших определенных грузов, вес которых заранее точно известен[2] и определится предварительными пробами, должно, по возможности, довести нагрузки чашек до полного равенства, чтобы при перемене AB в BA происходила лишь незначительная перемена в равновесии. А так как заранее грузы чашек и длины плеч коромысла весов, назначенных для точных взвешиваний, должны быть доведены до возможного равенства, то равновесия L_{AB} при положении AB и L_{BA} при положении BA будут мало отличаться от среднего положения уравновешенного коромысла (или от так называемого нуля шкалы). Все это (равно и 5 и 6) необходимо для точности результата, преимущественно: а) для того, чтобы при составлении уравнения $B = A + x$ доля веса x, определяемая по шкале весов полуразностью равновесий L_{AB} и L_{BA}, относилась бы только к таким мелким (не более 0.2 мг) или дробным частям веса, которые не могут быть прямо определяемы гирями,[3] так как все суждения, основанные на пропорциональности приращений веса с приращением показаний шкалы весов, можно считать в практике взвешиваний совершенно точными лишь при условии очень малых уклонений или очень малых угловых разностей, и б) для того, чтобы во всех взвешиваниях все равновесия L_i, отвечающие принятой системе взвешиваний, приходились недалеко от одного и того же места шкалы, так как в установке шкалы не может быть соблюдена полная пропорциональность между показаниями шкалы и тангенсами углов уклонения, а при устройстве и установке весов невозможны ни совершенный параллелизм осей вращения (или опор, ребер или остриев призм или ножей —

---

[1] Далее даны полные формулы всех расчетов, основанных на одинаковости промежутков времени между 2 взвешиваниями принятых систем.

[2] На весах с очень легким коромыслом и хорошего устройства (особенно окружив коромысло медною рамою, как упомянуто на стр. 176, во 2-й части «Временника»*), легко можно взвешивать миллиграммы, с точностью до десятитысячных долей миллиграмма.

[3] Очень мелкие гири, особенно менее 0.2 мг, очень мало удобны для практики, но практически легко восполнять гирями и очень малые разности веса, пользуясь дифференциальными грузами: кладя, например, на одну чашку гирю в 1 мг, а на другую чашку гирю в 1.1 мг.

* См. стр. 200 [*Прим. ред.*].

среднего и боковых), ни их полная горизонтальность, что необходимо для полноты указанной пропорциональности. Говоря короче: шкала отсчетов или та часть ее, которой пользуются, должна быть по возможности мала, чем меньше — тем лучше — для точности вывода.

5) Размахи колебаний при всех взвешиваниях должно стараться сделать как можно меньшими. Если предположим, — что недалеко от нормы, — что путь от глаза до зеркала, прикрепленного на коромысле, а от него до шкалы примерно равен 6 м, то каждая минута дуги круга отвечает почти 1.75 мм, и если деления шкалы нанесены чрез 2 мм, то 1 div. соответствует почти 68.7 секунды дуги, а так как при достаточном увеличении трубы полную точность отсчитывания можно довести примерно до $\frac{1}{12.5}$ деления, т. е. до 0.16 мм, то можно принять, что на современных точных весах можно определять уклонения коромысла на 5 секунд дуги. Если размахи в данной системе взвешиваний ограничить уклонениями в обе стороны на 25—30 делений, то область качаний ограничится примерно одним градусом дуги. При таких размерах размахов показания шкалы или тангенсы углов уклона совпадают, в пределе точности отсчетов, с дугами окружности при радиусе 6000 мм (tang $1° = 104.76$ мм, или 52.38 div., а дуга круга в $1° = 104.72$ мм, или 52.36 div., разность 0.04 мм, или 0.02 div. — отсчетом не определима). Если при этом шкала или ее изображение не будет перпендикулярна к лучу зрения, идущему в отсчетную трубу, то необходимо ввести поправку, которая была бы также нужна, если бы деления шкалы были не одинаковы, а постепенно изменялись бы в размере. Но неравномерность этого рода станет незначительною и впадет в пределы неизбежных погрешностей отсчета, если, с одной стороны, наклонность шкалы, как это и бывает в действительности, невелика, а с другой стороны, если все размахи будут невелики и отсчеты будут приходиться на небольшую (среднюю) часть шкалы. Влияние погрешностей этого рода особенно значительно при определении «чувствительности» n, как это указано в разобранном выше примере (стр. 269).

6) Одну из важных частей точных взвешиваний составляет определение «чувствительности» весов n, т. е. числа миллиграммов или долей их, отвечающих одному делению шкалы. Очевидно, что $n = \frac{r}{q}$, где r есть определенный, известный добавочный груз, примененный для определения чувстви-

тельности, а q — число делений, на которое изменяется равновесие при данной нагрузке чрез прибавку груза r. Не останавливаясь над теориею «чувствительности весов», можно взглянуть на дело с чисто практической стороны. Даны два груза, например, две гири, M и N, надо найти их уравнение, т. е. определить y в уравнении $M = N + y$. Для этого по предварительному взвешиванию к M или N или к ним обоим добавляются определенные грузы a и b, пока не получится почти полное равенство веса и составятся нагрузки A и B. Если $A = M + a$ и $B = N + b$, то, найдя уравнение $B = A + x$, мы, очевидно, узнаем уравнение $M = N + y$, если a и b известны. Таким образом, дело точного взвешивания сводится, во всяком случае, к сличению грузов A и B, различающихся лишь очень незначительно друг от друга. В этом отношении, при современной степени совершенства весов, желательно, чтобы разность x была, во всяком случае, менее 1 мг, а лучше если она не более 0.2 мг, что практически легко и достижимо. Величина x, выраженная в делениях шкалы, найдется из двух взвешиваний AB и BA, потому что $x = \frac{1}{2}(L_{AB} - L_{BA})$, судя по (XII bis). (О знаке этой разности, + или — [минус], говорится далее). Умножая эту полуразность отсчетов AB и BA на «чувствительность» n, получим x в миллиграммах. А так как $n = \frac{r}{q}$, где q есть разность равновесий AB и $AB + r$ (или $A + rB$), то

$$x = \frac{L_{AB} - L_{BA}}{L_{AB+r} - L_{AB}} \cdot \frac{r}{2},$$

т. е. разность $A - B$ определяется тем точнее, чем она абсолютно менее или чем менее разность равновесий $AB - BA$ отличается от разности равновесий $AB + r - AB$, если r известно с полною точностью. Сущность дела основана на пропорциональности между изменением разностей грузов и отвечающих им показаний шкалы. Эта пропорциональность тем допустимее, т. е. x тем точнее выразится в отношении к r, чем более x приближается или к нулю, или к r, т. е. чем менее разность L_{AB} от L_{BA} или чем ближе она к разности L_{AB} от L_{AB+r}. Изменяя добавочные грузы a, b и r, (для чего должно иметь значительный запас хорошо изученных малых грузов), легко воспользоваться этим замечанием. Во всяком случае, чтобы не выходить из определенной небольшой части шкалы, груз r должно брать возможно малый и при-

кладывать его должно к тому из грузов A или B, который легче. Держась этих легко выполнимых правил, *можно довольствоваться в системе взвешиваний одним определением чувствительности*, наблюдая L при нагрузке $AB+r$ (или $A+rB$), особенно если предварительные, также легко и прямо производимые наблюдения покажут, что деления шкалы по всей ее длине одинаковы. Если же этого нет и относительные размеры делений неизвестны, тогда полезно произвести 2 измерения чувствительности. Если на весах имеется устройство (таковы в Главной палате весы Неметца) для наложения (механически, издали) добавочного груза на обе чашки, тогда одно наблюдение надо сделать, кладя r на левую чашку, а другое — накладывая r_1 на правую чашку. Если же добавочный груз можно прикладывать издали только на одну чашку весов (как сделано на весах Рупрехта, имеющихся в Главной палате), то первое определение следует сделать при взвешивании AB (т. е. определить $AB+r$) и второе при взвешивании BA (т. е. определить L при нагрузке $BA+r$). Этим путем, как показано на примере (стр. 269), определяется n в зависимости от положения равновесия L, что на указанном примере вполне выяснено.

7) Основную цель взвешивания, т. е. нахождение x в уравнении $A=B+x$, достигают, как объяснено выше, проще всего двумя взвешиваниями, AB и BA, причем цель состоит в определении полуразности равновесий: L_{AB} от L_{BA}. Прежде чем говорить о других сторонах этого предмета, должно обратить существенное внимание на знак этой разности, т. е. на то, взять ли разность $L_{AB}-L_{BA}$ или разность $L_{BA}-L_{AB}$, отыскивая выражение $A=B+x$. На первый раз здесь может представиться ряд недоразумений, потому что деления шкалы могут идти слева направо или обратно.[1] Проще всего обратить внимание на определения AB и $AB+r$, назначенные для определения «чувствительности» n, потому в них записана прибавка груза r на правую или левую чашку и видна прибыль или убыль равновесия L,

[1] Прежде на шкале весов посредине писался 0 и деления шли в обе стороны; идущие вправо писались с +, влево с — (с минусом). Этот способ можно бы считать наилучшим, если бы изображение шкалы не представлялось чрез отражение перевернутым и если бы в записи не повторялись пропуски знаков, часто (особенно около 0) влекущие за собою погрешности вывода. Поэтому во всех весах новейшей конструкции нуль шкалы находится вне отсчетного поля и записи, а потому все отсчеты имеют один знак.

так что легко узнать, где нуль шкалы: справа или слева. Например, если AB отвечает равновесие $L_1 = 205.9$, а взвешиванию $AB + r$ (следовательно, r положен на правую чашку) отвечает $L_2 = 235.9$, то очевидно, что прибавка груза на правую чашку увеличивает отсчет шкалы и ее нуль находится на правой стороне. Если он лежал слева, произошло бы обратное, т. е. L_2 было бы менее L_1. Таким образом, легко узнать ту сторону, в которой находится нуль шкалы. А когда это известно, уже будет ясно, что все отсчеты должно относить к этой стороне. Если, например, $AB < BA$ и нуль направо, то, так как большее показание шкалы отвечает положению A на правой чашке, $A > B$ и, следовательно, $A = B + x$, где x — положительная величина. Если $AB < BA$ и нуль слева, то $B > A$; если $AB > BA$ и нуль справа, то, очевидно, $A > B$; если же нуль слева, то $B > A$. В этом последнем случае, конечно, следует писать или $B = A + x$ или $A = B - x$ и тому подобное. Этого правила достаточно для безошибочного ориентирования в разборе показаний шкалы. Можно предложить и иные правила, облегчающие память, но большинство их лишено наглядности и требует считать «чувствительность» n или положительною или отрицательною, что мало удобно и легко может подать повод к смешениям, которые вышеизложенным правилом устраняются.

8) Так как, с одной стороны, в предшествующем уже показано, что при взвешиваниях совершаются перемены «состояния весов», выражающиеся переменою равновесия по времени, а с другой стороны, видна необходимость нескольких разнородных взвешиваний, цель же их составляет нахождение истинной полуразности равновесий при нагрузках AB и BA, то возможно точный результат точного взвешивания может получиться не иначе, как чрез систему перемежающихся между собою взвешиваний AB и BA и определений чувствительности. А так как для определения изменения равновесий L при нагрузках AB или BA нельзя довольствоваться двумя повторенными взвешиваниями, потому что они определяют только прямолинейную зависимость, а ее естественнее, судя по опыту, представить криволинейною, то одну из полных систем точного взвешивания должно представить состоящею или из 8 взвешиваний:

1) AB, 2) $AB + r$, 3) AB, 4) BA, 5) AB, 6) BA,

7) $BA + r$, 8) BA;

или еще лучше из 10 взвешиваний:

1) AB, 2) $AB+r$, 3) AB, 4) BA, 5) AB, 6) BA, 7) AB, 8) BA, 9) $BA+r$ и 10) BA.

Каждая система дает два параболических уравнения состояния, одно для AB, другое для BA, и два определения n, но первая система дает только два равенства: $A=B+x$, а вторая четыре, так что вероятность исключения в среднем случайных погрешностей опыта сильно возрастет при производстве 10 взвешиваний.[1] Необходимость каждого из указанных взвешиваний и способ вывода из них окончательного результата должны быть очевидны из всего содержания этой статьи, а потому я особо не останавливаюсь над развитием соображений, определяющих состав приведенных систем,[2] тем более, что далее подробнее рассмотрен пример

---

[1] Практически, для точности результата и для выигрыша времени, выгоднее удлинить в два раза единичную систему взвешивания, чем повторить то же взвешивание во второй раз, особенно если между «системами», относящимися к данным A и B, вставить другие системы. При окончательной выверке прототипов веса в Главной палате на опыте мы увидим и решим, что дает более надежный результат: повторение ли системы из 10 взвешиваний (всего 20 взвешиваний) или одна система из 16 взвешиваний:

1) AB, 2) $AB+r$, 3) AB, 4) BA, 5) AB, 6) BA, 7) AB, 8) BA, 9) AB 10) BA, 11) AB, 12) BA, 13) AB, 14) BA, 15) $BA+r$, 16) BA.

Если здесь первые 8 и 8 последних взвешиваний расчесть независимо друг от друга, то слияние их результата может дать такую же уверенность среднему выводу, как и две системы из 10 взвешиваний, в выгоде получится время 4 взвешиваний. Во втором приложении разобрана система из 14 взвешиваний, ныне считаемая мною за наиболее полную и легко поддающуюся упрощениям.

[2] Главные соображения суть: 1) чувствительность желательно определять двукратно, чтобы избежать случайности. 2) Взвешивание с добавочным грузом r должно лежать (по времени) между двумя взвешиваниями без r. 3) Двойное взвешивание AB и BA должно повторяться каждое 3 раза, чтобы можно было расчесть по 3 данным (например для AB) параболу 2-го порядка или найти уравнение «состояния» как для AB, так и для BA. Наиболее простою должно считать систему 5 взвешиваний:

1) AB, 2) $AB+r$, 3) AB, 4) BA, 5) AB.

Но здесь и n и $AB-BA$ найдутся лишь по разу, а продолжая:

6) BA, 7) AB, 8) BA, 9) $BA+r$, 10) BA,

мы не только найдем n гораздо более точно (и для разных частей шкалы), но, что всего важнее, разность $AB-BA$ найдется, по уравнениям времени, 4 раза, т. е. точность увеличится в 4 раза, а число взвешиваний только в 2 раза. Таким путем рассуждения найдены системы в 10 и в 14 взвешиваний, на которых я далее останавливаюсь.

системы, содержащей 10 взвешиваний, в предположении равных промежутков времени между отдельными взвешиваниями, и в получаемом результате ясно видна (по формуле XIII) степень участия всех данных в выводе.

9) Что касается до определения меры погрешности, свойственной единичному взвешиванию, то она зависит исключительно от погрешностей отсчетов элонгаций. Чтобы составить некоторое понятие об этом последнем, когда наблюдается 4 элонгации, можно сличить между собою равновесия, вычисленные из 3 первых и 3 последних элонгаций, как это сделано в последнем из рассмотренных примеров. Но способ этот уже потому недостаточен, что в обоих L участвуют одни и те же средние элонгации l_2 и l_3 и разность L_1 от L_2 определяется лишь разностью погрешностей l_1 и l_4. Лучше можно судить о погрешности отсчетов, выводя, при помощи C (которое надо знать для весов и нагрузки), равновесие L из 2 первых элонгаций по формуле $L_1 = \frac{Cl_2 + l_1}{C+1}$ и сравнивая с $L_2 = \frac{Cl_4 + l_3}{C+1}$, выведенном из 2 последних элонгаций. Например, для времени $t=0$ в последнем примере, считая $C=1.05$, получаем $L_1=205.873$ и $L_2=205.893$, разность $= \pm 0.020$. Точно так же для $t=49$ получаем $L_1=207.260$, $L_2=207.219$, разность $= \pm 0.041$. Разобрав подобным образом многие взвешивания Главной палаты, я пришел к выводу, что средняя разность около ± 0.03 div. и всегда менее 0.05 деления, если десятые и сотые деления шкалы читаются наглаз, а так как при вычислениях L_1 и L_2 участвуют 4 отсчета, часть погрешностей которых взаимно уничтожается, то надо думать, что погрешность единичного отсчета l не превосходит ± 0.12 и, во всяком случае, менее ± 0.2 div. При расчете L из 4 элонгаций, очевидно, что большинство погрешностей этого рода, входя с разными знаками, взаимно уничтожается, а результат L, выводимый как среднее из целой системы взвешиваний, вероятно, почти совершенно (до ± 0.010 div.) свободен от погрешностей отсчетов и точность его определяется преимущественно степенью точности, с какою уравнения «состояния» выражают перемены, происходящие с весами во времени.

10) Хотя главную оценку вероятной погрешности (и ее уменьшение) результатов взвешиваний должно ждать только от неоднократного повторения целых «систем», но и в каждой одной из них есть свои повторения и много условий как для уменьшения погрешностей отсчетов, так и для

определения вероятной погрешности вывода. В этом отношении я делаю попытку приблизительной оценки вероятного результата вышеуказанной системы 10 взвешиваний, содержащих по 4 определения элонгаций, но сочту все основные погрешности отсчетов в их наибольшем размере, притом предполагаю: а) что деления шкалы равномерны, б) что погрешность отсчета элонгаций $= \pm 0.2$ деления шкалы (в действительности она менее), в) что $r = 0.2$ мг, г) что $n = 0.04$ мг и д) что A отличается от B менее чем на 0.2 мг, т. е. допускаю то, что очень легко осуществимо на весах Главной палаты при взвешивании 1 кг или 1 фунта. Так как выводы равновесий L находятся из 4 элонгаций ± 0.2 деления ($= \Delta$), то вероятную погрешность равновесий L я считаю возможным определить по общей формуле

$$\pm 0.675 \sqrt{\frac{\Sigma\Delta^2}{n(n-1)}} = \pm 0.675 \sqrt{\frac{4(0.2)^2}{4 \cdot 3}} = \pm 0.078 \text{ div.}$$

Следовательно, в отдельном L_i будет (наибольшая) погрешность около ± 0.08 div., или около ± 0.0032 мг. В определении искомой полуразности равновесий AB и BA участвует одно определение, непосредственно находимое, т. е. содержащее $L_i \pm 0.08$ div., и другое, находимое по уравнению состояния. Погрешность этого последнего я оцениваю, до некоторой степени предположительно, в 3 раза выше, чем погрешность непосредственного определения, т. е. принимаю $L_i \pm 0.24$ div. В разности этих двух определений должно принять погрешность ± 0.18 div., а в искомой полуразности ± 0.09 div. Таких полуразностей получится по системе 4, следовательно, в среднем результате будет вероятная погрешность около

$$\pm 0.675 \sqrt{\frac{4(0.09)^2}{4 \cdot 3}} = \pm 0.052 \text{ div.} = \pm 0.0021 \text{ мг.}$$

Погрешность эта в результате сложится с погрешностью n. Разности веса $r = 0.2$ мг отвечает разность равновесий $= 5$ div. ± 0.18 div., а от повторения того же определения, в среднем получается 5 ± 0.12 div., что дает $n = 0.04 \pm 0.00096$ мг. Если предположим, что полуразность AB от BA равна 2 div. (по условию она менее 5 div. или 0.2 мг), то погрешность вывода возрастет на ± 0.0019 мг.

Эта погрешность должна суммироваться с погрешностью среднего вывода:

$$\pm 0.675 \sqrt{\frac{(0.0021)^2 + (0.0019)^2}{2}} = \pm 0.00135 \text{ мг.}$$

Таким образом, можно надеяться, что при повторении «системы» разность 2 выводов из систем, содержащих по 10 взвешиваний, будет менее ± 0.0027 мг. Взяв же среднее из многих повторений, можно быть уверенным, что мы опустим вероятную погрешность среднего до величины гораздо меньшей, чем ± 0.00135 мг. Такой вывод находит опытное подтверждение в том, что уже и поныне (*июль* 1895 г.) во взвешиваниях, производимых в Главной палате Ф. П. Завадским и В. Д. Сапожниковым, согласие выводов при повторенных определениях достигает указанной степени точности, хотя применяется система (Временник, ч. 2, стр. 185*), менее совершенная, чем выше разъясненная, при помощи которой можно надеяться на достижение результатов еще высшей степени точности, притом в более короткое время. Если представим себе, что сравнение двух прототипов будет повторено, каждый раз по указанной системе, 5 раз[1] и все отдельные результаты будут разниться от среднего даже на ± 0.0015 мг, то и тогда вероятная погрешность этого среднего будет не более ± 0.0005 мг. Если удастся достичь такого результата, он представит явный шаг вперед в деле точного взвешивания.

---

[1] Представим, что *все* (это, конечно, наихудшее из возможных допущений) отдельные n определений отличаются от среднего на ± 0.0015 мг. Вероятная погрешность среднего, x, определится так;

$$x = \pm 0.675 \sqrt{\frac{n(0.0015)^2}{n(n-1)}} = \pm 0.00101\,(n-1)^{-2}.$$

Если $n =$	2	3	4	5	10	20
$\pm x =$	0.00101	0.00072	0.00058	0.00051	0.00033	0.00023 мг.

Из этого видно, что повторять более 4 или 5 раз не представит никаких осязательных выгод. Вообще, я такого мнения, что для получения точнейшего результата гораздо важнее там, где возможно, озаботиться об увеличении степени точности отдельных определений, чем о их многократном повторении, которое полезно не столько для уменьшения остающейся погрешности, сколько для убеждения в том, что в отдельные определения не вкрались случайные большие погрешности, которые при повторениях или взаимно уничтожаются, или явно выказываются. Но невольно рождается вопрос: где предел точности? Он должен быть — по причине трения, которому подвергаются гири, чашки, коромысло и тому подобное, и я думаю, что десятитысячные миллиграмма, при грузах в 300—1000 г, находятся уже в этом пределе.

* См. стр. 211 [*Прим. ред.*].

11) В предшествующем изложении мы приняли за правило выводить уравнения состояния из 3 наблюденных L_i, а потому получались параболы 2-го порядка вида:

$$L_i = L_i + a(t-i) + b(t-i)^2.$$

Поэтому, в указанной системе, содержащей 10 взвешиваний, получается всего четыре уравнения состояния: два для AB и два для BA, и для AB при $t=3$, равно как для BA, при $t=6$, получаются два значения. Но, конечно, можно было бы из 4 наблюденных L_i (например для AB из взвешиваний 1, 3, 5 и 7) вывести одно уравнение в виде параболы 3-го порядка. Однако в текущих наблюдениях прием этот мало пригоден по причине довольно сложных расчетов, с этим сопряженных.

Если же взвешивания будут произведены *чрез равные промежутки времени*, все расчеты упрощаются, и тогда, пользуясь 4 данными для AB и 4 для BA, получится лишь два уравнения состояния, одно для AB, другое для BA, вида:

$$L_i = L_i\, a(t-i) + b(t-i)^2 + c(t-i)^3.$$

Так как при равных временах между взвешиваниями все расчеты однородны, то я считаю не излишним выполнить весь этот расчет в общем виде. Для этого составлена следующая таблица:

	Времена t чрез равные промежутки	Равновесия из наблюдений	Равновесия, разочтенные из уравнений состояния (1) и (2) для времен t
0)	AB	L_0	
1)	$AB + r$	L_1	$(AB)_1 = \frac{1}{16}(5L_0 + 15L_2 - 5L_4 + L_6)$, по (1)
2)	AB	L_2	
3)	BA	L_3	$(AB)_3 = \frac{1}{16}(-L_0 + 9L_2 + 9L_4 - L_6)$, по (1)
4)	AB	L_4	$(BA)_4 = \frac{1}{16}(5L_3 + 15L_5 - 5L_7 + L_9)$, по (2)
5)	BA	L_5	$(AB)_5 = \frac{1}{16}(L_0 - 5L_2 + 15L_4 + 5L_6)$, по (1)
6)	AB	L_6	$(BA)_6 = \frac{1}{16}(-L_3 + 9L_5 + 9L_7 - L_9)$, по (2)
7)	BA	L_7	
8)	$BA + r$	L_8	$(BA)_8 = \frac{1}{16}(L_3 - 5L_5 + 15L_7 + 5L_9)$, по (2)
9)	BA	L_9	

Уравнение состояния для (AB) получится из L_0, L_2, L_4 и L_6 и будет иметь вид

$$(AB)_t = L_0 + \frac{1}{12}(-11L_0 + 18L_2 - 9L_4 + 2L_6)\,t + \\ + \frac{1}{8}(2L_0 - 5L_2 + 4L_4 - L_6)\,t^2 + \\ + \frac{1}{48}(-L_0 + 3L_2 - 3L_4 + L_6)\,t^3. \qquad (1)$$

Точно так же из L_3, L_5, L_7 и L_9 для взвешиваний BA получается второе уравнение состояния:

$$(BA)_t = L_9 + \frac{1}{12}(-11L_9 + 18L_7 - 9L_5 + 2L_3)\,(9-t) + \\ + \frac{1}{8}(2L_9 - 5L_7 + 4L_5 - L_3)\,(9-t)^2 + \\ + \frac{1}{48}(-L_9 + 3L_7 - 3L_5 + L_3)\,(9-t)^3. \qquad (2)$$

По этим уравнениям (1) и (2)[1] разочтены значения равновесий, вписанные в последний столбец предшествующей

[1] Раскрывая скобки при $(9-t)$ получаем для (2):

$$(BA)_t = \frac{1}{16}(-35L_9 + 135L_7 - 189L_5 + 105L_3) + \\ + \frac{1}{48}(+71L_9 - 261L_7 + 333L_5 - 143L_3)\,t + \\ + \frac{1}{48}(-15L_9 + 51L_7 - 57L_5 + 21L_3)\,t^2 + \\ + \frac{1}{48}(+L_9 - 3L_7 + 3L_5 - L_3)\,t^3.$$

Если бы кривые AB и BA были совершенно параллельны, тогда бы коэффициенты при t, t^2 и t^3 были в обоих уравнениях одинаковы, например, при t^3, из чего:

$$L_9 - 3L_7 + 3L_5 - L_3 = -L_0 + 3L_2 - 3L_4 + L_6.$$

На деле, вследствие того, что есть ошибки отсчетов и равенства (1) и (2) несовершенно выражают перемену «состояния» весов, конечно, будут разности, и их мерою может служить величина: $(L_9 - L_6) - 3(L_7 - L_4) + 3(L_5 - L_2) - (L_3 - L_0)$, которая должна быть близка к 0. (В примере 1-м конца статьи эта величина $= -0.024$). Это даст способ испытания степени точности метода при равных промежутках t.

таблицы. Таким образом, для $t=3$, 4, 5 и 6 имеются единовременные значения AB и BA; следовательно, вероятнейшее значение x в равенстве $A=B+x$ получится, если взять полуразность средних значений AB и BA:

Время	Значение $(AB)_t$ (1)	Значение $(BA)_t$ (2)
3	$\frac{1}{16}(-L_0+9L_2+9L_4-L_6)$	L_3
4	L_4	$\frac{1}{16}(5L_3+15L_5-5L_7+L_9)$
5	$\frac{1}{16}(L_0-5L_2+15L_4+5L_6)$	L_5
6	L_6	$\frac{1}{16}(-L_3+9L_5+9L_7-L_9)$
Среднее	$\frac{1}{16}(L_2+10L_4+5L_6)$	$\frac{1}{16}(5L_3+10L_5+L_7)$

Полуразность этих величин выразит x в делениях шкалы:[1]

$$A-B=\pm x=\frac{1}{2}(AB)_t-\frac{1}{2}(BA)_t=\frac{1}{32}[(L_2-L_7)+ +5(L_6-L_3)+10(L_4-L_5)]. \qquad (3)$$

[1] Если по оси абсцисс отложим времена t, а ординатами означим показания шкалы при равновесиях L, то кривая mnr представит данные для нагрузок BA и ответит уравнению (1), а кривая pqs ответит AB и уравнению (2). Если бы кривые были параллельны, то искомая разность $AB-BA$ выразилась бы постоянною разностью ординат обеих кривых. Но практически, вследствие многих причин, линии не параллельны и средняя разность равна площади L_2L_6nm, деленной на разность крайних абсцисс 6—2=4. Означим кривую pqs (1) чрез (AB), вторую же mnr (2) чрез (BA); очевидно, что для площади, отвечающей ординатам $t=3$ и $t=6$, получим выражение

$$\int_{t=3}^{t=6}(AB)\,dt-\int_{t=3}^{t=6}(BA)\,dt,$$

а для нахождения средней разности ординат должно разделить эту площадь на 3. Совершив все необходимые действия, т. е. найдя разность определенных интегралов для AB и BA и разделив эту разность на 3,

Это выражение очень легко рассчитывается из равновесий; для нахождения уравнений состояния должно обратить внимание на то, что в него не вошли L_0 и L_9, что позволяет, когда «чувствительность» n известна, применять указанное выражение в расчетах, имея лишь данные для 6 взвешиваний: AB, BA, AB, BA, AB и BA. Означая времена и им отвечающие равновесия прежними знаками:

получаем следующее выражение для средней разности $AB - BA$, или $\pm 2x$:

$$\pm 2x = \frac{3}{192} L_0 - \frac{9}{192} L_2 - \frac{45}{192} L_3 + \frac{153}{192} L_4 - \frac{153}{192} L_5 +$$

$$+ \frac{45}{192} L_6 + \frac{9}{192} L_7 - \frac{3}{192} L_9.$$

Поэтому искомая величина полуразности или x (в делениях шкалы) найдется так:

$$\pm x = \frac{1}{128} [(L_0 - L_9) - 3(L_2 - L_7) + 15(L_6 - L_3) + 51(L_4 - L_5)]. \quad (3a)$$

Строго говоря, это выражение более вероятно, чем далее приведенное выражение (3), но вывод этого последнего ближе к природе дела и расчет (3) гораздо удобнее, чем (3а). Сверх того, оба дают ничтожнейшую разность результатов при наблюдениях сколько-либо стройных (а очень нестройные наблюдения, где состояние весов быстро и неравномерно меняется, лучше всего оставлять без внимания, т. е. не брать в вывод среднего). Так, например, во втором численном примере, приведенном далее (стр. 294), по (3), получается $\pm x = -4.0000$ и по (3а) $\pm x = -4.0000$ div.; первый пример той же страницы, по (3), дает $\pm x = -3.9998$ div., а по (3а) получается: $\pm x = -4.0002$, разность их отвечает 0.0004 div. или, 0.000014 мг, т. е., при современных взвешиваниях, неощутима. Но, повторю, в принципе вывод по (3а) вероятнее, чем по (3), а потому, быть может, при усовершенствовании взвешиваний, придется прибегнуть к формулам, подобным (3а), т. е. выводимым на основании расчетов по интегрированию. В деле точного взвешивания ничем пренебрегать не следует. (См. добавление 2).

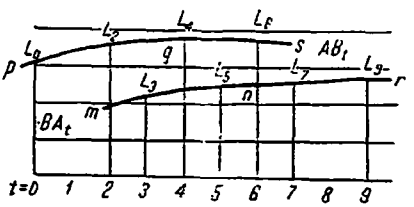


Рис. 2. Абсциссы — времена, ординаты — положения равновесий при взвешиваниях AB и BA. Площадь, например, L_2L_6nm, деленная на разность абсцисс, дает среднюю разность ординат.

$t=2$, 3, 4, 5, 6 и 7, и равновеся: L_2, L_3, L_4, L_5, L_6 и L_7, получим два уравнения состояния 2-го порядка:

$$(AB)_t = L_2 + \frac{1}{4}(-3L_2 + 4L_4 - L_6)(t-2) + \frac{1}{8}(L_2 - 2L_4 + L_6)(t-2)^2; \tag{4}$$

$$(BA)_t = L_3 + \frac{1}{4}(-3L_3 + 4L_5 - L_7)(t-3) + \frac{1}{8}(L_3 - 2L_5 + L_7)(t-3)^2. \tag{5}$$

Отсюда

t	$(AB)_t$ по (4)	$(BA)_t$ по (5)
3	$\frac{1}{8}(3L_2 + 6L_4 - L_6)$	L_3
4	L_4	$\frac{1}{8}(3L_3 + 6L_5 - L_7)$
5	$\frac{1}{8}(-L_2 + 6L_4 + 3L_6)$	L_5
6	L_6	$\frac{1}{8}(-L_3 + 6L_5 + 3L_7)$
Среднее	$\frac{1}{16}(L_2 + 10L_4 + 5L_6)$	$\frac{1}{16}(5L_3 + 10L_5 + L_7)$

Т. е. x здесь то же,[1] что и при счете по параболам 3-го порядка, что, между прочим, косвенно доказывает, что принятый нами порядок расчета уравнений состояния по параболам 2-го порядка (из 3 равновесий) совершенно достаточен.

[1] Если для кривых (4) и (5) произведем весь тот же расчет (интегральной разности), какой сделан в предшествующей выноске на основании уравнений (1) и (2), то получим:

$$\pm x = \frac{1}{2}\cdot\frac{1}{3}\left(\int_{t=3}^{t=6}(AB)_t\,dt - \int_{t=3}^{t=6}(BA)_t\,dt\right) = \frac{1}{8}[(L_6 - L_3) + 3(L_4 - L_5)]. \tag{3б}$$

Это простое выражение дает весьма точное приближение. Так, для примеров, далее приведенных, оно дает: для первого — 4.000, для второго — 3.997 div., что очень близко к наиболее достоверным числам,

Но закончим наш основной расчет, определив n, или «чувствительность» весов. Для этого служат в рассматриваемой системе два взвешивания с добавочным грузом r, дающие L_1 и L_8, и вычисленные для тех же времен равновесия без этих добавочных грузов. Предполагая деления шкалы равномерными, получим из первого определения для добавочного груза r разность равновесий $\frac{1}{16}(5L_0 + 15L_2 - 5L_4 + L_6) - L_1$, а из второго определения: $\frac{1}{16}(L_3 - 5L_5 + 15L_7 + 5L_9) - L_8$; взяв среднее, найдем n:

$$n = \frac{32r}{5(L_0 + L_9) - 16(L_1 + L_8) + 15(L_2 + L_7) + (L_3 + L_6) - 5(L_4 + L_5)}.$$

получаемым по (3) и (3а). Отсюда видно, что, изменяя способы разработки одних и тех же данных (видоизменяя исходные точки или гипотезы), можно получить разные выводы, которые, однако, при достаточно хороших основных данных — приводят к числам, практически не отличающимся друг от друга. Преобладающее значение во всех трех выводах (3), (3а) и (3б) имеют средние данные: $L_4 - L_5$ и $L_6 - L_3$, и я смотрю на это, как на несовершенство, которое следует, по возможности, избегнуть.

Сверх указанных соображений прикладного характера, я обратил в данном случае немало внимания на то, что хотя уравнения (4) и (5), служившие для нахождения (3б), содержат L_2 и L_7, а в выводе (3б) оба эти члена сократились, т. е. площадь, ограниченная двумя независимыми параболами, оказалась определяемою только двумя точками каждой параболы [L_4 и L_6 из (4) и L_3 и L_5 из (5)], а они определяют лишь две прямые линии. Это разъясняется чертежом (рис. 3). Верхняя парабола ab определена тремя точками: L_2, L_4 и L_6; нижняя cd — точками L_3, L_5 и L_7.

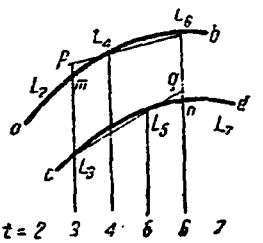


Рис. 3. Как рис. 2.

Требовалось узнать площадь между параболами и ординатами $t = 3$ и $t = 6$, а именно площадь mL_6nL_3. Оказалось, что площадь эта совершенно определяется разностями абсцисс $t = 6$ и $t = 3$ и ординатами L_4, L_6, L_3, L_5, т. е. прямыми pL_6 и L_3q, чрез них проходящими, и вовсе не зависит от положения точек L_2 и L_7. Это на первый раз непонятное обстоятельство разъяснилось новою теоремою или особым общим свойством параболы, выражающейся равенством $y = A + Bx + Cx^2$, о котором я говорю в I-м добавлении к этой статье. Так как я нашел эту теорему только тогда, когда уже закончил предлагаемую статью, то о приложении этой теоремы к организации системы взвешиваний говорю в особом приложении после конца статьи. Введение нового геометрического начала в существе не изменяет физико-механические основания всего предлагаемого исследования, но, я думаю, его улучшает и увеличивает точность и простоту вывода.

Подставляя это выражение n в уравнение (3), получаем в окончательном виде выражение x в единицах веса r (обыкновенно миллиграммы):

$$\pm x = A - B = \\ = r\frac{(L_2 - L_7) + 5(L_6 - L_3) + 10(L_4 - L_5)}{5(L_0 + L_9) - 16(L_1 + L_8) + 15(L_2 + L_7) + (L_3 + L_6) - 5(L_4 + L_5)}. \quad \text{(XIII)}$$

Расчет такого выражения[1] представляется очень простым, и оно позволяет (при равных промежутках времени) прямо находить искомую разность веса $A - B$, не прибегая к вычислению чувствительности n и уравнений состояния.

Привожу два численных примера, близких между собою; в обоих $r = 0.2$ мг.

		Пример первый	Пример второй
AB	L_0	100.000	100.000
$AB + r$	L_1	105.012	105.654
AB	L_2	99.932	101.032
BA	L_3	107.904	109.158
AB	L_4	99.896	101.056
BA	L_5	107.900	108.750
AB	L_6	99.916	100.264
BA	L_7	107.944	107.622
$BA + r$	L_8	113.000	111.848
BA	L_9	108.036	105.966

Первый пример дает, по (XIII):

$$\pm x = 0.2\frac{-127.992}{-161.032} = +0.1590 \text{ мг}.$$

Знак поставлен +, потому что нуль, очевидно (по L_0 и L_1), лежит справа, а так как $BA > AB$ (по L_2, $L_3 \ldots L_7$), то $A > B$, следовательно, при x должен быть +, если $x = A - B$ (то же и во втором примере). Но здесь разности $(AB)_i$ (т. е. L_0, L_2, L_4 и L_6) так малы, что можно вместо

[1] В этом выражении числитель содержит сумму разностей четных и нечетных L_i, начиная с средних $L_4 - L_5$, а знаменатель заключает суммы таких же пар L_i; в числителе преобладает значение разности $L_4 - L_5$, а в знаменателе преобладающую роль играет разность сумм $(L_2 + L_7) - (L_1 + L_8)$, что наглядно отвечает сущности тех соображений, которым посвящена предлагаемая статья.

(XIII) прямо брать средние. Из L_0, L_1, L_2 находим, что r или 0.2 мг отвечает 5.046 div., из L_7, L_8 и L_9 5.010 div., среднее 5.028 div., следовательно, среднее значение $n=0.03978$ мг. Среднее BA из L_3, L_5 и $L_7=107.916$, среднее AB из L_2, L_4 и $L_6=99.915$, их разность $=8.001$ div., а потому $x=A-B=$ $=\frac{1}{2}8.001\ \ n=0.1591$ мг, т. е. почти то же, что и по (XIII). Но это уже вовсе не повторяется на втором примере (он для того составлен и приведен), который по (XIII) дает $x=$ $=A-B=+0.1600$ мг, а применяя способ нахождения средних, получим ($n=0.03925$ мг) $x=\frac{1}{2}(108.511-100.784)=$ $=0.1516$, что показывает возможность значительной неточности (происходящей не от наблюдений, а от способа их расчета) вывода, а именно 0.0084 мг, т. е. разности в тысячных миллиграмма, если не пользоваться теми началами, относящимися до изменения «состояния весов», которые изложены в этой статье.

В заключение считаю не излишним показать над одним, случайно взятым, примером приложимость вышеописанных способов разработки данных точных взвешиваний к наблюдениям, произведенным в Международном бюро при сравнении килограммов, так как взвешивания эти, по справедливости, считаются образцовыми для новейшего времени, и они собраны и обработаны по плану, во многом отличающемуся от того, который разработан в этой статье и применяется в Главной палате мер и весов.

Рассмотрение приемов, примененных при взвешиваниях килограммов в Международном бюро мер и весов, и полный расчет одного примера полезны еще и в том отношении, что позволяют уяснить некоторые стороны наших приемов и расчетов, причем считаю долгом сказать, что изучение того, что произведено при взвешиваниях в Международном бюро, для меня очень поучительно и послужило поводом к более подробной разработке предмета. Указывая на некоторые недостатки в самой организации системы взвешиваний Бюро и на некоторые несовершенства приемов расчета, я постоянно помню, что со времени работ Бюро над килограммами прошло около десяти лет, и современное состояние точного взвешивания во многом и ныне должно опираться на то, что было совершено в Международном бюро. Притом мои замечания преимущественно назначаются

для того, чтобы при сопоставлении прежней или обычной практики с тою, которая выставлена или предлагается мною, выступили более рельефно новые стороны точных взвешиваний.

В отношении к наблюдениям, производившимся в Бюро, нет указаний на время средины отдельных взвешиваний, и я должен при нахождении уравнений «состояния» *принять промежутки времен между единичными взвешиваниями одинаковыми.*

Нельзя думать, что допущение это влечет за собою крупные погрешности расчета, тем более, что в избранном примере опытнейший наблюдатель, д-р Thiesen, произвел 32 взвешивания, распределенные по 8 на четыре отдельные системы, между которыми оставлялся значительный промежуток времени, следовательно, отдельные взвешивания в данной системе должны были непосредственно следовать друг за другом. В каждой системе грузы A и B означены особо, и 4 системы назначены преимущественно для того, чтобы определить не только разность веса $A-B$, но и разность δ' веса подставок (из горного хрусталя) $k.$ и $k..$ Разность объемов V и вес литра воздуха e, а также и вся поправка на вес вытесненного воздуха, Ve, даны для каждой системы, а потому мы прямо будем применять эти данные. Сперва приводим все данные для одного взвешивания, как они напечатаны на стр. VII, t. VIII (1893) «Travaux et Mémoires du Bureau»:

1886 Avril 11 et 12 — Observ. n°5—Balance Ruprecht, 1 Observ. M. Thiesen

		l_1	l_2	l_3	l_4	L	Calcul.
(1)	*AB*	103.12	84.98	102.88	85.10	93.975	$A = k. + $ n°16 + I 0.5′
	BA	77.28	113.98	77.98	113.40	95.820	$B = k.. + $ n°12
	BA	79.92	113.02	80.18	112.50	96.502	$A - B = (92.795 -$
	AB	73.98	111.00	74.40	110.28	92.557	$-95.787)\, n = -2.992\, n$
	BA	82.04	108.50	82.28	108.04	95.302	$V = +0.0011$ мл[1]
	AB	69.10	114.90	69.82	114.12	92.172	$e = 1.212$ [2]
	AB	72.90	111.88	73.38	111.12	92.475	$Ve = +0.0013$ мг
	BA	80.98	110.00	81.20	109.60	95.522	

[1] Чрез V означена разность объемов A и B в тысячных литра.
[2] Чрез e означен вес литра воздуха в граммах.

		l_1	l_2	l_3	l_4	L	Calcul.
(2)	*BA*	82.02	102.60	82.14	102.12	92.295	$A = k. + 16 +$
	AB	82.84	110.82	83.02	110.14	96.812	$+ 1\ 0.5' + 1\ 0.2''$
	AB	82.90	111.80	83.12	111.14	97.350	$B = k.. + 12$
	BA	70.44	113.02	70.96	112.44	91.852	$A - B = (96.988 -$
	AB	118.06	76.50	117.36	77.02	97.082	$- 91.675)\ n = + 5.313\ n$
	BA	70.92	111.38	71.32	110.90	91.240	$V = + 0.0012$ мл
	BA	82.90	99.78	83.00	99.28	91.315	$e = 1.211$
	AB	77.80	115.60	78.02	115.00	96.707	$Ve = + 0.0014$ мг
(3)	*AB*	78.76	110.08	79.08	109.62	94.482	
	BA	111.12	78.06	110.70	78.42	94.477	$A = k. + 12 + 1\ 0.5'$
	BA	70.80	119.50	71.34	118.84	95.270	$B = k.. + 16$
	AB	72.14	111.90	72.74	111.12	92.147	$A - B = (93.199 -$
	BA	113.10	76.92	112.58	77.20	94.850	$- 94.525)\ n = - 1.326\ n$
	AB	110.00	75.34	109.42	75.90	92.522	$V = - 0.0011$ мл
	AB	75.00	112.04	75.50	111.52	93.642	$e = 1.230$
	BA	115.32	72.04	114.62	72.72	93.502	$Ve = - 0.0013$ мг
(4)	*BA*	105.90	83.12	105.34	83.38	94.332	
	AB	113.62	73.80	112.88	74.12	93.472	$A = k. + 12 + 1\ 0.5'$
	AB	71.96	114.50	72.54	113.90	93.372	$B = k.. + 16$
	BA	75.42	112.32	75.98	111.88	94.025	$A - B = (93.145 -$
	AB	80.02	106.36	80.18	106.00	93.205	$- 94.269)\ n = - 1.124\ n$
	BA	114.14	74.10	113.66	74.74	94.020	$V = - 0.0011$ мл
	BA	80.88	108.42	81.14	108.02	94.697	$e = 1.230$
	AB	83.40	101.52	83.72	101.12	92.530	$Ve = - 0.0013$ мг

Из этих наблюдений сделаны (стр. 41) следующие выводы:

$16 - 12 + \delta' = - 0.5052$ мг $- 2.992$ div. $n = - 0.5775$ мг
$= - 0.7095$ » $+ 5.313$ » $n = - 0.5811$ »

Среднее $= - 0.5793$ мг

$16 - 12 - \delta' = + 0.5078$ мг $+ 1.326$ div. $n = + 0.5398$ мг
$= + 0.5078$ » $+ 1.124$ » $n = + 0.5350$ »

Среднее $= + 0.5374$ мг

Причем δ' означает разность веса подставок $k. - k..$, и принято $n = 0.02416$ мг,[1] I $0.5' = 0.5065$ мг,[2] I $0.2' = 0.2044$ мг. Окончательно же из предшествующего выводится $\delta' = -0.5583$ и, что составляет цель взвешиваний, (см.: Временник, ч. 2, стр. 183*)

$$n^\circ 16 - n^\circ 12 = -0.0209.$$

Теперь мы обратимся к разбору этих данных и новому их расчету.

Вывод равновесий L из 4 элонгаций произведен в Бюро по формуле (II). Расчет, основанный на применении более точной формулы (X), здесь, вследствие малости допущенных размахов, дает столь близкие числа, что разность их от тех, которые получены по (II), не имеет ощутимого значения. Поэтому далее, для простоты сличений, приняты L те же, какие выведены д-ром Thiesen'ом.

Считая за исход времени $t=0$ в каждой системе, содержащей 8 взвешиваний, время первого взвешивания, получим, что взвешивания AB и BA располагаются во времени:

первое: $t = 0 \quad 3 \quad 5 \quad 6,$

второе: $t = 1 \quad 2 \quad 4 \quad 7.$

Так как имеется по 4 данных для каждого взвешивания, то, на первый раз, кажется предпочтительным вести расчет по параболам 3-го порядка. Например, для 1-й (стр. 296) системы, взвешивания AB дали:

$t =$	0	3	5	6
$L_t =$	93.975	92.557	92.172	92.475,

а потому получается парабола:

$$(1)\quad AB_t = 93.975 - 0.2016\,t - 0.1782\,t^2 + 0.02928\,t^3.$$

Точно так же из данных для BA в 1-й системе:

$t =$	1	2	4	7
$L_t =$	95.820	96.502	95.302	95.522

---

[1] Это n в два раза менее того, которое применяется в нашей статье. Берется не полуразность L, а прямо разность.

[2] Число $-0.5052 = -$ I $0.5' + Ve$, а $Ve = -0.0013$, откуда I $0.5' = 0.5065$ (ibid., стр. 32).

* См. стр. 210. [*Прим. ред.*].

получаем:

$$(1)\quad BA_t = 95.820 + 1.39036\,(t-1) - 0.80203\,(t-1)^2 + \\ + 0.09367\,(t-1)^3.$$

Не прибегая к экстраполированию, можно делать сравнение кривых только от $t=1$ до $t=6$. Между этими пределами для обеих кривых площади суть

$$\int_{t=1}^{t=6} AB_t\,dt = 463.056,$$

$$\int_{t=1}^{t=6} BA_t\,dt = 477.770.$$

Разность этих определенных интегралов, или площадь между параболами и ординатами, отвечающими $t=1$ и $t=6$, равна —14.644; деленная на разность пределов (6—1), она покажет среднюю разность равновесий $AB - AB$, откуда, таким образом, получаем: $AB - BA = -2.929$ div.

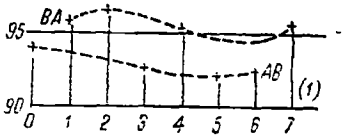
Это число довольно значительно (на 0.063 div $=0.0015$ мг) отличается от числа ($=2.992$ div.), разочтенного д-ром Thiesen'ом, который прямо берет среднее из всех $AB=92.795$ и из него вычитает среднее $BA=95.789$. Этот способ, примененный в Бюро, очевидно, не может дать несомненного результата, особенно при том расположении отдельных взвешиваний, какое здесь применено.

Если не брать разностей площадей, то все, что можно допустить, применяя параболы 3-го порядка, — это найти для тех же времен значения AB и BA. Например: для $t=5$ дано $AB=92.172$, а по параболе найдем $BA=94.544$, разность тогда $=-2.372$. Суждение об истинной разности при этом можно получить, взявши среднюю из всех равномерно распределенных разностей, а именно:

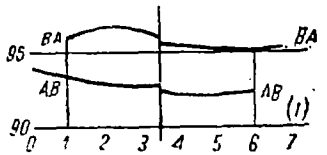
t =	1	2	3	4	5	6
AB =	93.624	93.093	92.557	92.191	92.172	92.475
BA =	95.820	96.502	95.981	95.302	94.544	94.430
Разность	—2.196	—3.409	—3.424	—3.111	—2.372	—1.955

При подобном значительном различии разностей в разные эпохи взвешивания становится очевидным, что в ходе наблюдений или, правильнее сказать, в ходе изменений

«состояния» весов, были такие различия, при которых трудно ждать точного вывода. Прилагаемый рисунок (рис. 4) иллюстрирует, что в ходе кривых 3-го порядка для *AB* и *BA*, означенных пунктиром, нет должного соответствия, ибо они далеки от параллелизма, и если для *AB* ход параболы 3-го порядка можно считать довольно вероятным, то для *BA* вся часть между $t=4$ и $t=7$, где по системе нет определений *BA*, чресчур приблизилась к *AB* — оттого и разности вышли здесь очень малы, что заставляет считать весь расчет по кривой 3-го порядка мало вероятным. По совокупности многих данных подобного рода я пришел к заключению о малой пригодности выражения «состояния» весов кривыми 3-го порядка и остановился исключительно на параболах 2-го порядка. Произвести в данном случае весь



[Рис.] 4.



[Рис.] 5.

Результат первой (1) системы взвешиваний при сличении килограммов n°16 с n°12 в Международном бюро.

расчет по параболам 2-го порядка, однако, не столь удобно, как при системах, нами применяемых, потому что в них взвешивания *AB* и *BA* перемежаются, а здесь при $t=1$ и 2 или $t=5$ и 6 повторяются. Это делает обычный наш прием расчета мало здесь применимым. Но даже, в виде опыта, я не прибегаю к расчету параболы 2-го порядка, взяв все 4 данных каждой кривой и находя по способу наименьших квадратов вероятнейшую кривую, потому что чрез это мы должны были бы удалиться во всех данных от наблюдений и впали бы в сомнительные суждения гипотетического свойства. Мне кажется более естественным не отрываться от чисел опыта до тех пор, пока получится искомая разность, а потому для *AB* и *BA* получать по две параболы 2-го порядка. Так, для *AB* по L_0, L_3 и L_5 получаем:

$$(1)\quad AB_{t=0-5} = 93.975 - 0.6408\,t + 0.05603\,t^2.$$

Эту параболу будем применять только для определения первой половины искомой площади, т. е. от $t=1$ до $t=$

$=3.5$. В этом пределе средняя ордината $AB=92.846$, потому что

$$\int_{t=1}^{t=3.5} AB_t\,dt = 325.789 - 93.673 = 232.116.$$

Для другой части площади получаем из данных AB для $t=3$, 5 и 6, параболу

$$(1)\quad AB_{t=3-6} = 92.557 - 0.5229\,(t-3) + 0.1652\,(t-3)^2,$$

откуда

$$\int_{t=3.5}^{t=6} AB_t\,dt = 276.805 - 46.220 = 230.585,$$

а потому средняя ордината для AB здесь $=92.234$. Для BA точно так же для обеих половин имеем:

$$(1)\quad BA_{t=1-4} = 95.820 + 1.10935\,(t-1) - 0.42735\,(t-1)^2;$$

$$\int_{t=1}^{t=3.5} BA\,dt = 240.791,$$ средняя ордината $BA=96.316$

и

$$(1)\quad BA_{t=2-7} = 96.502 - 0.8694\,(t-2) + 0.1347\,(t-2)^2;$$

$$\int_{t=3.5}^{t=6} BA\,dt = 381.926 - 143.927 = 237.999.$$

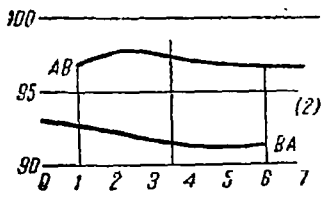
а потому средняя ордината BA для этой части $=95.200$. Таким образом:

	Для первой части	Для второй части
AB	92.846	92.234
BA	96.316	95.200
Разность	—3.470	—2.966

Средняя разность $AB-BA=-3.218$ div. Этот вывод я считаю более достоверным, т. е. более близким к истине, чем вывод —2.992 div., сделанный д-ром Thiesen'ом, и вывод (—2.929), сделанный из парабол 3-го порядка. Вывод —3.218 далее и принят для окончательного расчета. Чтобы показать отношение полученных кривых, все параболы изображены на прилагаемом чертеже [рис. 5]. Здесь видно, что

наибольшее удаление от параллелизма представляет первая часть кривой *BA*.

При расчете данных системы (2) встречается менее разноречий, потому что кривые *AB* и *BA* идут почти параллельно, как видно на прилагаемом рисунке [рис. 6], где проведены те четыре параболы, которые отвечают этой системе. Расчет сделан по этим четырем параболам, как для системы (1), и дал[1] в результате $AB - BA = +5.451$, вместо $+5.313$, полученного д-ром Thiesen'ом из прямого сличения средних. Таким же путем расчета для системы (3) получаем $AB - BA = -2.376$ div., вместо -1.326, полученных по способу, примененному д-ром Thiesen'ом. Столь большая разность расчета зависит здесь от того, что наблюдения для *AB* дали кривую, до того не параллельную с *BA*, что L_7 для *BA* вышло меньше L_0 и L_6 (для *AB*), тогда как вообще, особенно около средины системы, значения *BA* выше значений *AB*. Строго говоря, всю эту систему следует считать мало надежной, и если я ее принимаю для дальнейших расчетов, то лишь в виду того, что система (4) представляет не что иное, как



[Рис.] 6. Система (2) при сличении килограммов, как на рис. 4 и 5.

---

[1] Для упрощения довольно сложных расчетов (и для их проверки) привожу общее выражение в том виде, как оно здесь представляется по предшествующему изложению. Для того ряда, который начинается с $t = 0$, первая средняя ордината от 1 до $3^1/_2$ равна:

$$\frac{1}{180}(31L_0 + 170L_3 - 21L_5),$$

вторая от $3^1/_2$ до 6 равна:

$$\frac{1}{36}(5L_3 + 30L_5 + L_6).$$

Для того ряда взвешиваний, который начинается с $t = 1$, средняя ордината в первой половине кривой

$$\frac{1}{36}(L_1 + 30L_2 + 5L_4),$$

а для второй равна

$$\frac{1}{180}(-21L_2 + 170L_4 + 31L_7).$$

повторение системы (3), т. е. A и B в обеих те же, а потому в среднем результате часть погрешностей обеих систем должна уничтожиться. Кроме того, д-р Thiesen в своем окончательном выводе принял (3), а потому, чтобы сделать наши выводы сравнимыми, должно принять во внимание и (3). Но степень точности этого вывода, как бы его ни делать, несомненно, гораздо ниже, чем для трех остальных систем, так как в них направление кривых AB и BA все же гораздо ближе к параллелизму, чем в системе (3). Достаточно одного взгляда на прилагаемый чертеж [рис. 7 и 8], изображающий ряд парабол в (3) и (4) системах, чтобы тотчас видеть, что взвешивания (4) системы произведены в гораздо лучших условиях. Рассчитывая прежним путем по четырем параболам, для (4) системы получаем $AB - BA = -0.849$ div.

Получая соответственные разности и взяв среднее, в результате имеем искомую разность:

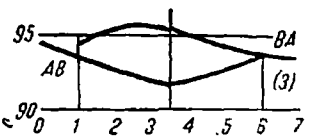
$$\frac{1}{360}[31(L_0 - L_7) + 195(L_3 - L_4) + 129(L_5 - L_2) + 5(L_6 - L_1)].$$

Здесь ясно видно: 1) что наибольшее влияние на результат оказывают средние взвешивания L_2, L_3, L_4 и L_5, в которых AB и BA перемежаются, 2) что такие взвешивания L_1 и L_6, которые повторяются с рядом стоящими (L_2 и L_5), оказывают малое влияние на результат и 3) что разность нашего расчета от примененного д-ром Thiesen'ом

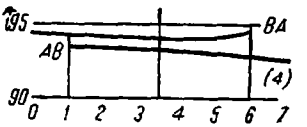
$$= \frac{1}{360}[59(L_7 - L_0) + 105(L_3 - L_2) + 39(L_5 - L_2) + 85(L_1 - L_6)].$$

Естественная причина, по которой средние взвешивания должны иметь большее влияние на результат, состоит в том, во-первых, что крайние взвешивания AB не имеют твердо установленных им отвечающих (по времени) взвешиваний BA, и, во-вторых, в том, что по существу дела общий результат системы относится всегда к среднему времени, а следовательно, более всего и должен определяться взвешиваниями, близ него произведенными. В корне дела причина различия приемов и выводов д-ра Thiesen'a и моих состоит в том, что различия равновесий, например, L_0, L_3, L_5, L_6 д-р Thiesen считает как бы «*случайными*» погрешностями, зависящими как таковые лишь от несовершенства органов и приборов, а потому берет среднее, по моим же воззрениям, основанным на фактах, сообщаемых и разбираемых в этой статье, указанное различие определяется суммою случайных и «*систематических*» погрешностей, а потому прежде чем брать среднее (по возможности, исключающее случайные погрешности), я стремлюсь, по возможности, исключить систематические погрешности, для чего и служат вводимые мною уравнения «состояния». В смысле точных индуктивных знаний, последний путь более верен, так как систематическую последовательность изменений «состояний» весов — показывает опыт.

Приступая к расчету веса, мы прежде всего оговоримся в отношении обозначения чувствительности n, потому что мы будем означать, как и ранее этого, буквою n число миллиграммов, отвечающее 1 div. (1 делению) шкалы, а потому, выражая разность веса в делениях шкалы, будем брать половину полученной разности (д-р Thiesen берет n в два раза меньше, а потому в расчет вводит всю разность делений шкалы). Сверх того, д-р Thiesen пользуется определением чувствительности, взятым из особых определений, мы же для определения n пользуемся различием нагрузок в (1) и (2) системах, в которых B тождественны, а в A есть



[Рис.] 7. Система (3) при сличении килограммов, как на [рис.] 4 и 5.



[Рис.] 8. Система (4) при сличении килограммов n° 16 и n° 12 в Международном бюро мер и весов.

разность 0.2043 мг. Так как $AB-BA$ в (1) $=-3.218$ div. и в (2) $=+5.451$ div., то соответственные равенства суть:

(1) n° 16 $+\delta'+0.5065$ мг $-$ n° 12 $=-1.609$ div. $+0.0013$ мг

(2) n° 16 $+\delta'+0.7108$ мг $-$ n° 12 $=+2.7255$ div. $+0.0014$ мг,

где чрез δ' означена разность веса подставок ($k.-k..$), как это означил д-р Thiesen, а $+0.0013$ означает поправки Ve на взвешивание в воздухе. Вычитая равенства, получаем

$$0.2042 \text{ мг} = 4.3345 \text{ div.}$$

Откуда n, или число миллиграммов, отвечающее одному делению, $=0.04711$ мг. По данным же, принятым д-ром Thiesen'ом, наше $n=0.04832$. Разность не велика $=$ $=0.00121$ мг, но все же может иметь свое значение. Далее мы принимаем $n=0.04711$ мг.

При (3) и (4) системах получено $AB-BA=-2.376$ и -0.849. Нагрузки при этом были те же, следовательно берем среднее $AB-BA=-1.6125$ div., полуразность будет -0.8062 div., или -0.0380 мг. Сюда должно прибавить еще среднюю поправку на вес вытесненного воздуха $=-0.0013$ мг, получается: -0.0393 мг.

Поэтому системы (3) и (4) в среднем дают:

$$n^\circ 12 + \delta' + 0.5065 \text{ мг} - n^\circ 16 = -0.0393 \text{ мг}.$$

Точно так же из (1) системы, подставляя n, имеем;

$$n^\circ 16 + \delta' + 0.5065 \text{ мг} - n^\circ 12 = -0.0745 \text{ мг}.$$

Складывая соответственные части равенства, находим;

$$2\delta' + 1.0130 \text{ мг} = -0.1138 \text{ мг},$$

откуда

$$\delta' = -0.5634 \text{ мг}.$$

А подставляя значение δ', получаем:

$$n^\circ 16 - n^\circ 12 = -0.0176 \text{ мг}.$$

Этот вывод отличается от того, который сделан д-ром Thiesen'ом ($= -0.0209$ мг), на величину $+0.0033$ мг.[1] Такими

[1] Причина разности двоякая: 1) разность способов вывода из данных значения $AB - BA$, выраженного в делениях шкалы:

Системы	Расчет д-ра Thiesen'a	Расчет Д. Менделеева	Разность
(1)	— 2.992 div.	— 3.218 div.	+ 0.226
(2)	+ 5.313 »	+ 5.451 »	— 0.138
(3)	— 1.326 »	— 2.376 »	+ 1.050
(4)	— 1.124 »	— 0.849 »	— 0.275

Средняя квадратическая полуразность $= \pm 0.280$ div., что при $n = 0.047$, отвечает ± 0.0132 мг; 2) разность принятой величины n. Мы приняли то n, которое вытекает из описанных взвешиваний ($n = 0.04711$), а д-р Thiesen принял $n = 0.04832$. Если бы мы приняли это последнее число, то получили бы:

(1) $n^\circ 16 - n^\circ 12 + \delta' = -0.5052$ мг $- 1.609\ n = -0.5828$ мг
(2) $= -0.7095$ » $+ 2.7255\ n = -0.5778$ »

Среднее $= -0.5803$ мг.

(3) $n^\circ 16 - n^\circ 12 - \delta' = +0.5078$ мг $+ 1.188\ n = +0.5652$ мг
(4) $= +0.5078$ » $+ 0.4245\ n = +0.5283$ »

Среднее $= +0.5467$ мг.

Откуда $n^\circ 16 - n^\circ 12 = -0.0168$. Отсюда видно, что принятие того или другого n мало влияет на вывод, который очень сильно зависит от способа вывода разности $AB - BA$.

величинами в обычных взвешиваниях привыкли пренебрегать, считая их в числе неизбежных погрешностей, но когда дело касается современных точных метрологических взвешиваний, ими пренебрегать не следует, потому что тысячные доли миллиграммов уже можно с большою достоверностью определять при общей нагрузке до 1000 г, как это видно во всем вышеизложенном. Столь точное взвешивание, сильно подвинутое вперед в средине прошлого десятилетия трудами Международного бюро мер и весов, ныне, по нашему опыту, может быть подвинуто еще немного далее, для доказательства чего и написана предлагаемая статья, основной вывод который можно формулировать следующим образом: главное внимание при точных взвешиваниях должно обратить на определение переменных AB_t и BA_t и так организовать наблюдения, чтобы находить их изменение во времени, без чего точность взвешиваний не может достичь возможно малых погрешностей. Если бы в Международном бюро, при системе из 8 взвешиваний (без определения n): во-первых, AB и BA всегда перемежались, во-вторых, определялось время каждого взвешивания

Замечу при этом, что в примере, случайно взятом нами для разбора, вышла сравнительно небольшая разность = 0.0033 мг, обыкновенно разность расчетов д-ра Thiesen'а и более правильного, сделанного по вышеуказанным способам, гораздо значительнее. Так, например, при сличении, произведенном 25 апреля 1886 г., которое избрано д-ром Thiesen'ом для примерного объяснения способов его расчета (l. c., стр. 26), наблюдено:

AB	99.825			96.802		96.865	96.922	
BA		93.135	93.022		93.497			91.977

Откуда д-р Thiesen выводит, что $AB - BA = +4.696$ div. Применяя же вышеуказанный более точный способ расчета, получаем $AB - BA = +3.896$ div. Неточность окончательного результата расчета равна $+0.800$ div., или около 0.019 мг. Над этим, опять-таки случайно (и не мною, а самим д-ром Thiesen'ом) избранным, примером становится совершенно очевидным, что способ расчета точного взвешивания имеет большое влияние на результат, особенно же тогда, когда кривые AB_t и BA_t далеки от параллелизма, что, к сожалению, встречается очень часто при взвешиваниях, служащих для установления веса международных килограммов. Так, в указанном примере, AB во всех случаях близко к 96.85, но под влиянием первого взвешивания, давшего 99.82, напрасно увеличено, тем более, что этому наблюдению нет соответственного BA и для этого последнего, очевидно, надо принять за вероятное среднее L, близкое к 93.25, что и должно дать $AB - BA$, близкое к 3.6, а не к 4.7, как получено из арифметического среднего. Я думаю, что при взвешиваниях столь мало стройных, как вышеуказанное, погрешность результата достигает до ± 0.01 мг и тысячные доли миллиграмма не имеют реального значения.

(или промежутки времен были бы равные), и, в-третьих, если бы были приняты меры[1] к большему постоянству равновесий, тогда бы точность выводов, стоивших огромного труда, много увеличилась.

Дополнение 1. *Лемма, относящаяся к площади* (квадратуре) *параболы 2-го порядка*:

$$y = A + Bx + Cx^2.$$

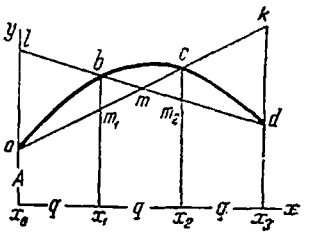
Требуется узнать площадь [рис. 9], ограниченную параболою y, ординатами, отвечающими x_0 и x_3, и осью абсцисс. Известно, что такая площадь составляет определенный интеграл от y в пределах от x_0 до x_3, т. е. искомая величина

$$\int_{x_0}^{x_3} y\,dx = A(x_3 - x_0) + \frac{1}{2}B(x_3^2 - x_0^2) + \frac{1}{3}C(x_3^3 - x_0^3). \qquad (I)$$

Перенесем начало координат в x_0 и расстояние $x_3 - x_0$ разделим на 3 равные части, которые назовем q, а полученные точки означим x_1 и x_2. Тогда, очевидно, абсциссы: $x_0 = 0$, $x_1 = q$, $x_2 = 2q$ и $x_3 = 3q$ (рис. 9), а уравнение (I) примет вид:

$$\int_0^{3q} y\,dx = 3Aq + \frac{9}{2}Bq^2 + 9Cq^3 =$$

$$= \text{площади } x_0 abcd x_3. \qquad (II)$$



[Рис.] 9. Если *abcd* есть парабола вида $y = A + Bx + Cx^2$, то площадь $x_0 abcd x_3$ равна площади ldx_3x_0, или akx_3x_0, когда $x_1 - x_0 = x_2 - x_1 = x_3 - x_2$.

Проведем ординаты, отвечающие x_1 и x_2, до пересечения с параболой в точках b и c. Уравнение секущей, проходящей чрез точки параболы a и c, которых абсциссы $= 0$ и $2q$, а ординаты, очевидно, $= A$ и $A + 2Bq + 4Cq^2$, будет:

$$y_{ac} = A + (B + 2Cq)x. \qquad (III)$$

Поэтому площадь трапеции $x_0 ackx_3$ выразится: или а) аналитически чрез

---

[1] Например, при помощи той медной рамы, охватывающей коромысло, о которой упомянуто во 2-й части «Временника», стр. 176*, и о значении которой я предполагаю впоследствии говорить подробнее.

* См. стр. 200. [*Прим. ред.*].

$$\int_0^{3q} y_{ac}\,dx = 3Aq + \frac{1}{2}(B + 2Cq)(3q)^2 = 3Aq + \frac{9}{2}Bq^2 + 9Cq^3, \quad \text{(IV)}$$

или б) геометрически, на основании теоремы: площадь трапеции равна полусумме параллельных сторон (ax_0 и kx_3), умноженной на их расстояние по перпендикуляру (т. е. на $x_3 - x_0 = 3q$), что дает, на основании (III)

$$\frac{ax_0 + kx_3}{2} 3q = \frac{A + A + (B + 2Cq)\,3q}{2} 3q = 3Aq + \frac{9}{2}Bq^2 + 9Cq^3.$$

Это показывает, что площадь трапеции $x_0 ackx_3$ равна площади, ограниченной параболою $x_0 abcdx_3$.

Такое же равенство получим для площади трапеции $x_0 lbdx_3$, ограниченной линиею ld, проходящею чрез точки параболы b и d, потому что уравнение этой прямой есть

$$y_{bd} = A - 3Cq^2 + (B + 4Cq)x. \quad \text{(V)}$$

Для этой прямой

$$\int_0^{3q} y_{bd}\,dx = 3Aq - 9Cq^3 + \frac{1}{2}(B + 4Cq)\,9q^2 = 3Aq + \frac{9}{2}Bq^2 + 9Cq^3,$$

т. е. опять тот же, как (II) для параболы.

Точка m, где пересекаются прямые ak и ld (для нее, очевидно, y_{ac} равно y_{bd}) имеет абсциссу $^3/_2 q$, т. е. отвечающую средине между x_0 и x_3.

Отрезки ординат al и dk равны между собою и $= -3Cq^2$. Следовательно, и площади треугольников alm и kdm равны между собою, так как их основания и высоты одинаковы.

Стрелки $m_1 b$ и $m_2 c$, очевидно, будут в 3 раза менее линий al и kd, т. е. будут $= -Cq^2$.[1]

Таким образом, *плоскость* $x_0 abcdx_3$, *ограниченная осью абсцисс, двумя ординатами и частью параболы* $y = A + Bx + Cx^2$,[2] *равняется плоскости трапеции* $x_0 lbdx_3$, *ограниченной, вместо параболы, прямою, проходящею чрез одну из крайних точек части параболы* (чрез d), *и чрез другую точку параболы* (чрез b), *ордината которой отстоит на* $^2/_3$ *расстояния ординат крайних точек взятой части параболы*

[1] Следовательно, если $q = 1$, то эти стрелки cm_2 и bm_1 равны C.

[2] Ось такой параболы, как известно, параллельна оси ординат. Это условие необходимо иметь в виду, т. е. чрез перемену координат привести уравнение параболы к указанной форме.

$$\left[x_3 - x_1 = \frac{2}{3}(x_3 - x_0)\right].$$

Эта теорема доставляет один из способов квадратуры параболы. Она имеет свое значение, во-первых, потому, что параболы, выраженные равенством $y = A + Bx + Cx^2$, встречаются чрезвычайно часто и прилагаются во множестве случаев и, во-вторых, потому, что указанное свойство параболы доныне еще не было подмечено, а оно может найти не мало приложений.[1] Замечу, сверх того, что в разобранном случае кривая $y = A + Bx + Cx^2$ заменена в смысле площадей определенною прямою $y = A' + B'x$, т. е. порядок понижен, а потому можно уже полагать, что вообще для парабол вида $y = A + Bx + Cx^2 + \ldots + Mx^n$ можно порядок понизить, когда дело касается интегрирования или нахождения плоскостей. Но решение этого вопроса в общем геометрическом смысле не касается предмета этой статьи, а потому мы переходим затем прямо к приложению вышенайденного к системам взвешиваний и к их расчету.

Дополнение 2. *Система из 14 взвешиваний, основанная на указанной лемме.* В предшествующем мы рассчитывали уравнения «состояния» по 3 наблюдениям, получая параболы 2-го порядка вида:

$$L = A + Bt + Ct^2.$$

На основании же указанной теоремы можно ограничиться двумя определениями, и точность будет не меньшею. Если, например, дано 3 взвешивания AB и BA, перемежающиеся между собою:

$t =$	1	2	3	4	5	6
$L =$	AB_1,	BA_1,	AB_2,	BA_2,	AB_3,	BA_3,

то два уравнения состояния, в виде кривых 2-го порядка, дают возможность сделать вывод о средней разности $AB - BA$ для пространства времени от $t = 2$ до $t = 5$. Но по выведенной теореме такое же суждение можно сделать с полною точностью, вовсе не зная AB_1 и BA_3, т. е. произведя лишь 4 взвешивания, если их расположить чрез равные промежутки времени. А это ведет или к сокращению времени (числа) взвешиваний, или, производя то же число взвешиваний, к увеличению точности результата. Сокраще-

[1] Об этой теореме сделано мною краткое собщение в «Comptes Rendus de l'Acad. d. Sciences» (1895, стр. 1467).

ние числа взвешиваний не имеет особо важного практического значения при производстве возможно точных взвешиваний, особенно по той причине, что всякая смена грузов A или B влечет за собою большую потерю времени, так как при этом должно подходить к весам и после того должно ждать не менее 2 часов для того, чтобы весы вновь пришли в температурное равновесие с окружающим пространством, повторение же перекладываний $AB — BA$ занимает немного времени. Гораздо важнее увеличить точность и получить способы убеждения в согласии получаемых выводов, подобные тем, какие получаются при повторении системы. На этом основана система из 14 взвешиваний,[1] содержащая в себе троекратное определение искомой разности $A — B$.

Промежутки времени между единичными взвешиваниями предполагаются одинаковыми. Это требуется существом расчетов, прилагаемых здесь и основанных на вышедоказанной теореме.[2] Означим эти времена чрез t_1, t_2, ... t_{14}.

---

[1] Если взвешивание гирь производится (как и следует иногда делать, по примеру Международного бюро) на подставках, которых вес должно исключить, то для этого необходимы две системы (см. выше, пример Бюро) с переменою подставок. Так как для этой перемены наблюдатель должен приближаться к весам и действовать гирями, то между двумя системами должно оставить большой промежуток времени. Для наиболее важных взвешиваний (например, при сравнении прототипов) смену лучше делать к вечеру, чтобы за ночь получилось температурное равновесие. Тогда в течение дня легко повторить систему 2 или 3 раза, и окончательный результат каждого сличения получится в два дня, как результат среднего из 2 или 3 систем. При таком распределении работы хотя потребуется много времени, но зато получится ряд данных, которые дадут полную возможность точно судить о степени точности отдельных результатов, чего, к большому сожалению, нельзя сделать в отношении к установке веса международных килограммов, что объясняется огромною массою сличений, которые предстояли в то время Международному бюро мер и весов, чем устранялась возможность повторения взвешиваний. Проверка и суждение о степени точности взвешиваний достигалась в Бюро способами, указанными во «Временнике» (ч. 2, стр. 183*), как и объяснено в образцовом отчете, представленном г-ном Бенуа Международной конференции 1889 г. (Travaux et Mémoires, t. VII).

* См. стр. 210. [*Прим. ред.*].

[2] Очевидно, что промежутки времени между взвешиваниями нельзя сделать настолько точно одинаковыми, насколько можно замечать времена взвешиваний. Погрешность от принятия неодинаковых промежутков времени за равные (эта погрешность может достигать до длительности половины или даже полутора размаха, т. е. примерно от 20 до 50 секунд) будет тем более влиять на результат, чем менее будет параллелизма между кривыми AB и BA и чем они будут более удаляться от горизонтальной прямой. Если влияние этого рода погрешности будет сколько-либо значительно, придется оставить принцип равенства промежутков, но, хотя тогда расчеты усложнятся, сущность системы и ее выгоды останутся.

При точных взвешиваниях всегда известно из предварительных испытаний, который из сравниваемых грузов тяжелее. Назовем чрез A тот груз, который тяжелее B (разность $A-B$ должна быть, как сказано выше, не более 0.2 мг).

Организация системы основана на том, что 4 взвешивания AB, BA, AB и BA дают один результат, который сравнивается с двумя другими такими же. Сравнение этих в одной системе содержащихся результатов укажет степень точности, достигаемую частями системы, а ее общий вывод будет, конечно, обладать всею возможною точностью, потому что в нем исчезнет большинство случайных погрешностей.

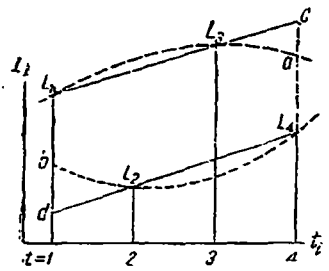
Так объясняются 12 взвешиваний, а 2 назначаются для определения чувствительности, они расположены симметрично между взвешиваниями AB и BA, что и дает следующие 14 взвешиваний системы.

Времена	Чашки		Положение равновесия и результаты в делениях шкалы	
	левая	правая		
1	A	B	L_1	$(A-B)_1=\frac{1}{8}(L_1-3L_2+3L_3-L_4)$
2	B	A	L_2	
3	A	B	L_3	
4	B	A	L_4	
5	$(B+r)$	A	L_5	$n_1=\frac{16r}{(L_2-9L_4+16L_5-9L_6+L_8)}$
6	B	A	L_6	$(A-B)_2=\frac{1}{8}(-L_6+3L_7-3L_8+L_9)$
7	A	B	L_7	
8	B	A	L_8	
9	A	B	L_9	
10	A	$(B+r_1)$	L_{10}	$n_2=\frac{16r_1}{(L_7-9L_9+16L_{10}-9L_{11}+L_{13})}$
11	A	B	L_{11}	$(A-B)_3=\frac{1}{8}(L_{11}-3L_{12}+3L_{13}-L_{14})$
12	B	A	L_{12}	
13	A	B	L_{13}	
14	B	A	L_{14}	

Если опыт покажет, что достижение равных промежутков времени между взвешиваниями трудно исполнимо или мало точно, тогда вместо излагаемой далее системы 14 взвешиваний (малоудобной для расчета при неравных промежутках времени), быть может, лучше пользоваться системами с иным числом взвешиваний, из которых я считаю особо выгодными следующие три:

А) Из 11 взвешиваний: 1) AB, 2) BA, 3) AB, 4) $AB+r$, 5) AB, 6) BA, 7) AB, 8) $AB+r$, 9) AB, 10) BA и 11) AB. Здесь AB опреде-

Получение единичного результата, например $(A-B)_1$, совершенно понятно из вышеприведенной теоремы, на ней основано и уяснено чертежом, на котором по оси абсцисс отложены времена, а ординаты суть положения равновесий (рис. 10). Чрез точки L_1 и L_3, равно как чрез L_2 и L_4, проведены (пунктиром) некоторые воображаемые параболы второго порядка (их, понятно, можно провести множество — результат же будет одинаков). Для вычисления разности веса должно знать среднюю разность ординат в пространстве от $t=1$ до $t=4$. Эта средняя разность найдется, если узнаем площадь $L_1 a L_4 b$ между параболами и крайними ординатами и эту площадь разделим на разность абсцисс: $4-1=3$. По вышеизложенной теореме площадь эта равна площади трапеции $L_1 c L_4 d$, потому что расстояние ординат L_1 от L_3 или ординат L_2 от L_4 равно, по условиям опыта, $\frac{2}{3}$ расстояния крайних ординат[1] $L_4 - L_1$.



[Рис.] 10. Схематическое представление системы из 4 взвешиваний: L_1 и L_3 для AB, L_2 и L_4 для BA.

Площадь же указанной трапеции определяется положением точек L_1, L_2, L_3 и L_4 совершенно точно и равняется

ляется 6 раз и расчет уравнения «состояния» должно производить только для AB.

B) Из 17 взвешиваний: 1) AB, 2) BA, 3) AB, 4) BA, 5) AB, 6) $AB+r$, 7) AB, 8) BA, 9) AB, 10) BA, 11) AB, 12) $AB+r$, 13) AB, 14) BA, 15) AB, 16) BA и 17) AB.

C) Из 20 взвешиваний: три группы по 6 взвешиваний, перемежая AB и BA, и 2 взвешивания между ними для определения n. Эту последнюю систему можно было бы считать наиболее нормальною — при неравных промежутках — и дающею надежнейшие результаты, если бы она не требовала много времени. Опыты Главной палаты решат выбор системы, сообразуясь не только с достижением наиболее точных результатов, но и с удобством в распределении взвешиваний для наблюдателей. Система из 20 взвешиваний при средней длительности каждого в 4 минуты (что легко достижимо на весах Неметца), займет около 1 часа 20 минут и, быть может, тогда, сделав перемену грузов (например смену подставок), можно будет успеть сделать — в течение утренних рабочих часов — два полных взвешивания (или одно с переменою подставок).

[1] Это суждение совершенно точно, оно не есть экстраполирование, хотя мы не знаем, как направляются параболы, т. е. не знаем положения точек a и b. В этом и состоит значение вышеприведенной теоремы, могущей оказаться полезною и во многих других приложениях.

$\frac{3}{4}(L_4 - 3L_2 + 3L_3 - L_4)$, где 3 есть расстояние параллельных сторон, а $\frac{1}{4}(L_1 - 3L_2 + 3L_3 - L_4)$ есть полусумма параллельных сторон трапеций.[1] Разделяя эту площадь на 3, получим среднюю разность ординат, т. е. $AB - BA$.

Половина этой разности, или $\frac{1}{8}(L_1 - 3L_2 + 3L_3 - L_4)$, есть выражение разности веса $A - B$ в делениях шкалы, что и вписано в последний столбец таблицы. Такой же вывод повторен в системе 3 раза.

Сличение трех полученных результатов укажет степень согласия данных. Общий же или окончательный результат, я полагаю, всего достовернее получить, взяв сперва из $(A-B)_1$ и $(A-B)_2$ и определив по 5-му взвешиванию (находящемуся как раз между ними) значение разности в миллиграммах; это даст R_1, или первую разность в весе. Точно так же из $(A-B)_2$ и $(A-B)_3$ среднее, при помощи 10-го взвешивания, даст R_2; среднее же из R_1 и R_2 доставит окончательный результат системы или разность $A-B$ в миллиграммах, а именно, совершив все действия, получается:

$$A - B = \frac{r}{2} \cdot \frac{(L_1 - L_4) + 3(L_3 - L_2) + (L_9 - L_6) + 3(L_7 - L_8)}{(L_2 + L_8) + 16L_5 - 9(L_4 + L_6)} + \frac{r_1}{2} \cdot \frac{(L_9 - L_6) + 3(L_7 - L_8) + (L_{11} - L_{14}) + 3(L_{13} - L_{12})}{(L_7 + L_{13}) + 16L_{10} - 9(L_9 + L_{11})} \quad \text{(XIV)}$$

[1] Из чертежа и существа дела очевидно, что для нахождения средней разности $AB - BA$ здесь (т. е. при указанных условиях распределения взвешиваний — но не при иных) будет оправдан способ средних, но не в том виде, в каком он применялся в Международном бюро [среднее тогда было бы $= \frac{L_1 + L_3}{2} - \frac{L_2 + L_4}{2} = \frac{1}{2}(L_1 - L_2 + L_3 - L_4)$], а в следующем: среднее из L_1 и L_3 можно считать отвечающим времени L_2, а потому одна разность будет $\frac{L_1 + L_3}{2} - L_2$, точно так же составится среднее из L_2 и L_4 для времени L_3, а среднее из этих двух разностей и будет искомая разность

$$\frac{\frac{L_1 + L_3}{2} - L_2 + L_3 - \frac{L_2 + L_4}{2}}{2} = \frac{1}{4}(L_1 - 3L_2 + 3L_3 - L_4)$$

т. е. такая же, как по лемме. Из примера, приведенного во «Временнике» (ч. 2, стр. 185*), видно, что я всегда держался примерно этого способа вывода средних, он по существу тождествен с тем, какого держатся при определении равновесий (стр. 224).

* См. стр. 211. [*Прим. ред.*].

Результат такой системы из 14 взвешиваний — при прочих равных условиях — должен быть, по крайней мере, в два раза более точен, чем результат выше рассмотренной системы из 10 взвешиваний, выраженный формулою (XIII), и в 4 раза более точен, чем результат системы 14 взвешиваний, расположенных так, как применялось доныне в Главной палате и дано в виде примера на стр 267. Судя по многим взвешиваниям Палаты, должно думать, что на весах Рупрехта для 14 взвешиваний потребуется не менее $1^1/_2$ часов времени, так что промежуток времени на каждое отдельное взвешивание будет около 6—7 минут. На весах Неметца все манипуляции (арретировка, перемена грузов и прибавка r) производятся скорее и на систему в 14 отдельных взвешиваний расходуется менее часа, так что на одно взвешивание достаточно будет почти 4 минуты. Это должно иметь немалое значение не столько для сокращения времени наблюдения, сколько для уменьшения изменений в «состоянии весов», а точные взвешивания должны быть основаны на способах, дающих возможность уменьшать эти изменения и систематически их исключать из результата взвешиваний. Исключение систематических погрешностей, выражаемых уравнениями «состояния весов», полагается в основу всех мною предлагаемых систем взвешиваний, а исключение неизбежных случайных погрешностей (отсчета колебаний и расчетов по уравнениям «состояния») производится повторением операций, что дает и меру остающихся погрешностей, которые ныне легко могут доводиться до тысячных миллиграмма или даже, быть может, и до десятитысячных (если не встретится препятствий от стирания чашек и тому подобных косвенных причин), при грузах в 1 кг и менее.

Предшествующая система, *при равных промежутках времени* между отдельными взвешиваниями, может быть, хотя не без убыли точности, упрощена, если взять только 9 первых взвешиваний, и может быть улучшена, если умножить число единичных взвешиваний, а именно двумя способами: чрез увеличение числа определений $AB—BA$ и чрез увеличение уверенности в определении n, для чего, по предложению В. Д. Сапожникова, при взвешиваниях Палаты уже применяется наложение r и r_1 на оба плеча весов, например так: если для $(A+r)B$ получится равновесие L_1, а тотчас затем для $A(B+r_1)$ равновесие L_2, то для среднего времени должно принять: $n=\frac{r+r_1}{L_1-L_2}$, независимо от равновесия при грузе AB. Та-

ким образом можно составить систему из 22[1] взвешиваний:

$$AB,\ BA,\ AB,\ BA,\ (B+r)A,\ B(A+r_1),\ BA,\ AB,\ BA,\ AB,$$
$$(A+r)B,\ A(B+r_1),\ AB,\ BA,\ AB,\ BA,\ (B+r)A,\ B(A+r_1),$$
$$BA,\ AB,\ BA,\ AB.$$

Система эта, наверное, даст результат еще более точный, чем выше рассмотренная система из 14 взвешиваний.

При *неравных промежутках* времени систему из 22 взвешиваний должно составить так:

$$AB,\ BA,\ AB,\ BA,\ AB,\ BA,\ (B+r)A,\ B(A+r_1),\ BA,\ AB,$$
$$BA,\ AB,\ BA,\ AB,\ (A+r)B,\ A(B+r_1),\ AB,\ BA,\ AB,\ BA,$$
$$AB,\ BA.$$

Общие выводы, относящиеся до приемов точных взвешиваний

1) Для наиболее точных взвешиваний, при помощи надлежащих весов современного устройства, должно считать необходимыми: незыблемость горизонтальной опорной площадки весов, отсутствие самостоятельных колебаний чашек — при колебании коромысла, возможность отсчета секунд дуги уклонений коромысла и возможно полное удаление всех причин (особенно же прямого влияния наблюдателя и источников тепла и света), изменяющих «состояние весов», т. е. положение равновесия при определенной нагрузке. Для этой последней цели, судя по прямым опытам, всегда полезно окружить коромысло весов массивною сплошною медною рамою (коробкою из толстых сплошных листов красной меди), служащею для равномерного распределения тепла по всей длине коромысла.[2]

---

[1] Если отбросить 5-е и 17-е взвешивания, система останется та же и будет содержать 20 взвешиваний.

[2] Влияние медной коробки, окружающей коромысло, очевидно сказалось на результатах взвешиваний, производимых в Главной палате, и об этом предмете я предполагаю говорить в особой статье «Временника». Теперь же делается лишь общее, предварительное о нем замечание.

Если весы при грузе в сотни граммов и при обычных приемах наблюдения (когда наблюдатель прямо находится около ящика весов) дают разности в десятых долях миллиграмма, то после устройства коробки из толстых листов красной меди кругом коромысла, те же весы позволяют точно определять сотые доли миллиграмма. Но для достижения наивысшей точности (на 1 кг $\pm$ 0.001 мг) необходимо не только, чтобы наблюдатель был удален от весов на 2—4 м, но чтобы и коро-

2) Шкала, по которой производится отсчет элонгаций, должна быть выверена и все отсчеты исправлены на калибрование шкалы.

3) При взвешиваниях должно стремиться как к тому, чтобы размахи были малы, так и к тому, чтобы при всех взвешиваниях данной системы пользоваться лишь небольшою частью шкалы, для чего грузы A и B должно по возможности (до 0.2 мг) уравнивать добавочными, заранее изученными мелкими гирями.

4) Для данных весов и нагрузок при малых размахах убыль размахов можно считать постоянною, т. е. принимать:

$$\frac{l_n - l_{n+1}}{l_{n+2} - l_{n+1}} = C,$$

где C более 1 (для точных весов обыкновенно от 1.10 до 1.01) и зависит явно: а) от площади горизонтальной проекции колеблющихся чашек, т. е. от величины сопротивления воздуха, и б) от веса нагрузки, т. е. от инерции. Такому выражению убыли размахов отвечает общее выражение колебаний коромысла весов:

$$l_n = L + R(-C)^{-n} = L + R\left(\frac{-1}{C}\right)^n,$$

где l_n есть отсчет (по шкале) n-той элонгации (считая за первую меньшую из двух рядов наблюдаемых или за 0 — бо́льшую), L — отсчет равновесия, R — полуразмах при $n=0$ и C — вышеуказанное постоянное, не зависящее от начала счета колебаний. При n бесконечно большом, очевидно, $l_n = L$.

мысло было окружено медною коробкою, потому что влияние тепла, испускаемого наблюдателем, на показание чувствительных весов несомненно даже при расстоянии в 2 и 4 м от коромысла. Считаю не излишним обратить здесь внимание также на то обстоятельство (оно, вероятно, составит предмет особой статьи, когда соберется достаточный ряд опытных данных), что во взвешиваниях Главной палаты, как в взвешиваниях Пойнтинга и Международного бюро, оказалось, что после долгого покоя (в арретированном состоянии) первые показания весов всегда явно отличаются от последующих (это объясняется остаточною упругостью коромысла, долженствующего при взвешиваниях немного изменить свой изгиб), а потому при начале системы первое взвешивание в расчет не принимается. Окружение коромысла весов коробкою со слоем воды, вероятно, окажется полезным, но еще не подвергнуто испытанию в Главной палате.

5) Если C известно, то из отсчета *двух* элонгаций, l_1 и l_2, определяется отсчет равновесия L:

$$L = \frac{Cl_2 + l_1}{C+1}.$$

Этим можно пользоваться для сокращения времени единичных взвешиваний и целой их системы.

6) При наблюдении *трех* элонгаций, l_1, l_2, l_3, точное выражение равновесия:

$$L = \frac{1}{4}\left(l_1 + 2l_2 + l_3 - \frac{(l_1 - l_3)^2}{l_1 + l_3 - 2l_2}\right) =$$

$$= \frac{1}{4}\left[l_1 + 2l_2 + l_3 - \frac{C-1}{C+1}(l_1 - l_3)\right],$$

а приближенное —

$$L = \frac{1}{4}(l_1 + 2l_2 + l_3)$$

тем точнее, чем меньше размахи и чем C ближе к 1.

7) При наблюдении *четырех* элонгаций погрешности отсчетов более сокращаются, чем при 3 элонгациях, и точное выражение равновесия:

$$L = \frac{1}{8}\left(l_1 + 3l_2 + 3l_3 + l_4 + \frac{(l_1 - l_3)^2}{2l_2 - l_1 - l_3} + \frac{(l_2 - l_4)^2}{2l_3 - l_2 - l_4}\right),$$

а приближенное, обыкновенно достаточное (в пределе погрешностей отсчетов) для малых размахов, равно предшествующему без двух последних дробей:

$$L = \frac{1}{8}(l_1 + 3l_2 + 3l_3 + l_4).$$

Определяя L из 2 первых и 2 последних элонгаций (по формуле 5-го пункта), можно уже получить некоторое понятие о происходящем изменении «состояния» весов.

8) «Состоянием весов» называется мною «функция времени», выражающая изменение равновесия L во времени t при данной нагрузке чашек. При точных взвешиваниях необходимо знать «состояние» весов, потому что точное взвешивание требует «системы» или сочетания взвешиваний AB (слева груз A, справа груз B) и BA (означает перемену положения грузов на чашках, слева B, справа A),

так как искомая разность веса, $A-B=x$, определяется из полуразности равновесий $^1/_2(L_{AB}-L_{BA})$, умноженной на n («чувствительность» весов), для определения которого должно произвести третье взвешивание $(A+r)B$ или $A(B+r)$ с небольшим (около 0.5—0.2 мг) добавочным грузом r, так что для получения результата необходимо, по меньшей мере, 3 взвешивания: AB, BA и $B(A+r)$, а так как в это время (как бы мало оно ни было) «состояние» весов обыкновенно более изменяется, чем в пределе возможных случайных ошибок, то, не определяя «состояния» весов, а прямо сличая полученные равновесия для вывода искомой разности x, смешивают систематические изменения «состояния» весов со случайными погрешностями отсчета и понижают точность вывода x.

9) Для суждения о «состоянии» весов должно в определенные времена t_i повторять данное взвешивание, например AB или BA, или то и другое и вывести зависимость равновесий L_i от t. Тогда можно знать, каково было бы равновесие, например AB, в промежуточное время, когда произведено взвешивание BA или $(A+r)B$.

10) Временем взвешивания, которому отвечает равновесие L, должно считать среднее время тех элонгаций, из которых определено L. Для простоты расчетов очень выгодно, чтобы взвешивания «системы» совершались чрез равные промежутки времени, а для точности вывода функции L_t необходимо не только усиленно заботиться о том, что указано в 1-м пункте, но и, по возможности, сокращать пределы времен, к которым относится данная функция времени, которую, по неизвестности причин, определяющих перемену «состояния» весов, нельзя эксполировать, а можно только интерполировать в возможно небольших пределах времени.

11) Для сокращения расстояния по времени между взвешиваниями всей системы, т. е. для точнейшего определения функции времени, а следовательно, и для точности вывода x должно стремиться сокращать число наблюдаемых элонгаций, по возможности до 2 и во всяком случае брать не более 4.

12) Для возможно точного знания «состояния» весов необходимо, чтобы повторяющиеся взвешивания (например AB или BA), служащие для вывода, были отделены друг от друга не более как чрез одно взвешивание; например, система AB_1, BA_2, AB_3, $(A+r)B_4$, AB_5 содержит 3 раза AB чрез одно взвешивание, что позволяет составить для AB

функцию времени в виде параболы 2-го порядка: $AB_t = a + bt + ct^2$, которая даст возможность узнать, каково было бы равновесие AB_2 и AB_4 в те времена, когда произведены взвешивания BA_2 и $(A + r)B_4$. Совокупность указанных взвешиваний составляет наименьшее число (5) единичных взвешиваний, образующих «систему». Сличая AB_2 (т. е. L_2 отвечающее $t=2$, по функции времени) с BA_2, узнаем полуразность равновесий, отнесенную к одному времени $t=2$, сличая же $(A+r)B_4$ с AB_4, узнаем n, или число миллиграммов, отвечающее одному делению, а потому узнаем и искомое x, или разность веса $A-B$.

13) Опыт показывает, что для выражения «состояния» весов обыкновенно недостаточно прямолинейной функции ($L_t = a + bt$), т. е. что равновесие (при данной нагрузке) изменяется не пропорционально времени, так как dL/dt нельзя считать постоянной и у L_t есть maxima и minima.

14) Опыт показывает, что для промежутка времени, в который можно произвести пять последовательных взвешиваний, перемены в равновесии, или уравнение «состояния» можно выразить с достаточною степенью точности параболою 2-го порядка: $L_t = a + bt + ct^2$, но при длинных промежутках времени, например в 7 или 8 взвешиваний, очень часто совершаются такие изменения «состояния весов», что совокупность их часто нельзя охватить с достаточною точностью параболами 3-го и 4-го порядков; а так как расчет по этим последним сверх того более сложен, то для приближения к истине пригоднее всего пользоваться расчетом по параболам 2-го порядка, вида $L_t = a + bt + ct^2$, назначая каждую для времени пяти последовательных взвешиваний. О степени точности в определении функции времени можно получить суждение по степени параллельности парабол AB_t и BA_t, определенных по системе перемежающихся взвешиваний; например: 1) AB_1, 2) BA_2, 3) AB_3, 4) BA_4, 5) AB_5 и 6) BA_6. Отступления от параллелизма (зависящие, обыкновенно, судя по опыту, более всего от несоблюдения условий, означенных в пункте 1-м) парабол BA_t и AB_t покажет меру неустраненных погрешностей, для уменьшения которых необходимо повторение системы.

15) Площадь между параболами, отвечающими AB и BA, в пределах времен t_1 и t_2, для которых известны обе параболы, при разделении этой площади на разность пределов $(t_2 - t_1)$ дает разность равновесий $AB - BA$ с наибольшею возможною степенью точности. Если, например, для AB от t_0 до t_n известна парабола $(AB)_t = a_1 + b_1 t + c_1 t^2$, а для BA

от t_1 до t_{n+1} равновесие выражается параболою $(BA)_t = a_2 + b_2 t + c_2 t^2$,[1] то наиболее вероятное выражение разности $AB - BA$ в пределе времен от t_1 до t_n будет:

$$(a_1 - a_2) + \frac{1}{2}(b_1 - b_2)(t_n + t_1) + \frac{1}{3}(c_1 - c_2)(t_n^2 + t_n t_1 + t_1^2).$$

15 bis) Лемма: площадь, ограниченная частью параболы $y = a + bx + cx^2$ между точками m и n (или y_1 и y_2), осью X-ов (абсцисс) и двумя ординатами, отвечающими точкам m и n и абсциссам x_1 и x_2, равняется площади трапеции, ограниченной, вместо параболы, прямою, проходящею чрез одну из крайних точек параболы (m или n) и чрез другую точку параболы, отстоящую от первой на $\frac{2}{3}$ разности крайних абсцисс $= \frac{2}{3}(x_2 - x_1)$.

16) На основании этой леммы, произведя чрез *равные промежутки времени* 4 взвешивания: AB, BA, AB и BA, и получив для них равновесия L_0, L_1, L_2 и L_3, найдем, что разность равновесий $AB - BA = \frac{1}{4}[(L_0 - L_3) + 3(L_2 - L_1)]$, что отвечает точно выражению «состояния весов» двумя параболами (одна для AB, другая для BA) 2-го порядка, хотя основывается на определении только двух точек в каждой параболе.

17) Соответственно лемме, данной в пункте 15-м, при исчислении плоскостей, ограниченных параболами высших порядков $y = a + bx + cx^2 + dx^3 + \ldots$, порядок можно понизить,[2] а потому при равных промежутках все расчеты разности $AB - BA$ сводятся к простейшему виду, как видно в прилагаемой схеме, где четные L отвечают AB, а нечетные — BA.

Последний или конечный результат будет — искомая средняя разность $AB - BA$, разочтенная по площадям параболы высшего возможного порядка. Например, если дано $L_0 L_1 L_2$: $AB - BA = 2x_1 = \frac{1}{2}[(L_0 - L_1) + (L_2 - L_1)]$; если сделано 4 определения или даны $L_0 L_1 L_2 L_3$, то $AB - BA = x_1 + x_2 = \frac{1}{4}[(L_0 - L_3 + 3(L_2 - L_1)]$ (этот случай дан выше,

---

[1] Если бы обе параболы были параллельны, то b_1 было бы равно b_2 и $c_1 = c_2$.

[2] Это доказывается так же, как лемма 15 bis.

в пункте 16-м); если даны $L_0\,L_1\,L_2\,L_3\,L_4$: $AB-BA=\frac{1}{8}[(L_0-L_1)+(L_4-L_3)+3(L_3-L_1)+3(L_2-L_3)]$; если дано 6 наблюдений: (3 раза AB и 3 раза BA), то $AB-BA=\frac{1}{16}[(L_0-L_5)+5(L_4-L_1)+10(L_2-L_3)]$ (как получается при расчете по параболе 3-го порядка), и т. д. Следовательно, при равных промежутках времени между перемежающимися AB и BA, расчет $AB-BA$, принимая во внимание параболические уравнения времени, сводится к очень простому общему приему — без нахождения самих парабол, выражающих «состояние весов», хотя он на них основан.

Наблюдены	Первые разности $AB-BA$	Первые средние $AB-BA$	Вторые средние $AB-BA$	Третьи средние $AB-BA$
$AB\ L_0$				
	$\frac{L_0+L_2}{2}-L_1=2x_1$			
$BA\ L_1$		x_1+x_2		
	$L_2-\frac{L_1+L_3}{2}=2x_2$		$\frac{x_1+2x_2+x_3}{2}$	
$AB\ L_2$		x_2+x_3		$\frac{x_1+3x_2+3x_3+x_4}{4}$
	$\frac{L_2+L_4}{2}-L_3=2x_3$		$\frac{x_2+2x_3+x_4}{2}$	
$BA\ L_3$		x_3+x_4		$\frac{x_2+3x_3+3x_4+x_5}{4}$
	$L_4-\frac{L_3+L_5}{2}=2x_4$		$\frac{x_3+2x_4+x_5}{2}$	
$AB\ L_4$		x_4+x_5		$\frac{x_3+3x_4+3x_5+x_6}{4}$
	$\frac{L_4+L_6}{2}-L_5=2x_5$		$\frac{x_4+2x_5+x_6}{2}$	
$BA\ L_5$		x_5+x_6		
	$L_6-\frac{L_5+L_7}{2}=2x_6$			
$AB\ L_6$				
и т. д.	и т. д.	и т. д.	и т. д.	и т. д.

18) Целью «системы» взвешиваний служит определение разности веса $A-B=x$, а эта разность = полуразности равновесий $AB-BA$, умноженной на n. Определив вышеуказанным способом разность $AB-BA$, должно опреде-

лить n прибавкою добавочного груза r, а если затем повторить опять определение разности $AB - BA$, получим в среднем уничтожение большей части случайных погрешностей. Подобным образом составлены, например, следующие системы: а) из 10 взвешиваний: 1) AB, 2) $(AB+r)$, 3) AB, 4) BA, 5) AB, 6) BA, 7) AB, 8) BA, 9) $(B+r)A$ и 10) BA; б) из 11 взвешиваний: 1) AB, 2) BA, 3) AB, 4) $A(B+r)$, 5) AB, 6) BA, 7) AB, 8) $A(B+r)$, 9) AB, 10) BA и 11) AB; в) из 14 взвешиваний: 1) AB, 2) BA, 3) AB, 4) BA, 5) $(B+r)A$, 6) BA, 7) AB, 8) BA, 9) AB, 10) $A(B+r)$, 11) AB, 12) BA, 13) AB и 14) BA; г) из 20 взвешиваний: 1) AB, 2) BA, 3) AB, 4) BA, 5) AB, 6) BA, 7) $(B+r)A$, 8) BA, 9) AB, 10) BA, 11) AB, 12) BA, 13) AB, 14) $A(B+r)$, 15) AB, 16) BA, 17) AB, 18) BA, 19) AB и 20) BA или д) AB, BA, AB, BA, $B(A+r)$, BA, AB, BA, AB, $A(B+r)$, $(A+r_1)B$, AB, BA, AB, BA, $B(A+r)$, BA, AB, BA, AB и т. п. В этих системах, особенно в двух последних, случайные погрешности отсчетов и систематические погрешности, зависящие от перемены «состояния весов» по возможности взаимно уничтожаются, а потому вероятность вывода сильно возрастает.

19) Определение «чувствительности» n, или взвешивания $A(B+r)$ могут быть исключаемы из системы (без уменьшения точности результата) только тогда, когда из особых наблюдений будет известно изменение чувствительности как с нагрузкою, так и с переменою температуры. Определение n[1] располагается — по времени — в системе симметрично относительно перемежающихся взвешиваний AB и BA. Два взвешивания, $A(B+r)$ и $(A+r_1)B$, отвечающие равновесиям L_1 и L_2, дают n для среднего времени независимо от взвешиваний AB: $n=\frac{r+r_1}{L_1-L_2}$. При определении «чувствительности» весов n добавочный груз должно прибавлять к тому грузу B, который легче, чтобы уклон коромысла не выходил из определенных пределов, какие встречаются при взвешиваниях AB и BA.

[1] Величину n, или «чувствительность весов» мы, как это ныне принято большинством исследователей, выражаем грузом (обыкновенно в миллиграммах), изменяющим равновесие L на одно деление шкалы, хотя под названием «чувствительности весов» обыкновенно подразумевается дробь $\frac{1}{n}$, т. е. число делений шкалы, отвечающее 1 мг, а потому, например, принято говорить, что «чувствительность» возрастает с уменьшением нагрузки (или с уменьшением прогиба коромысла), когда n уменьшается.

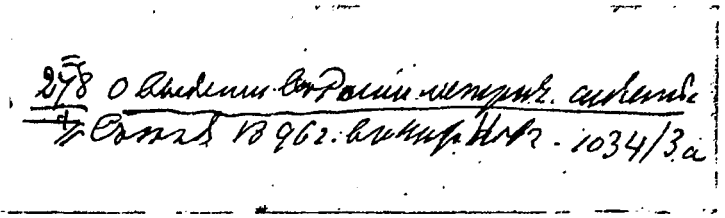
20) Сравнивая L при нагрузках AB и $A(B+r)$, легко узнать, справа или слева лежит нуль нумерации последовательной шкалы; взвешивание должно относиться к той стороне, на которой лежит нуль шкалы, например, если он слева, то к грузу A при нагрузке AB, и если при этом $AB > BA$, то $A > B$.

21) При соблюдении предшествующего, если n (оно отвечает одному делению шкалы) не более 0.04 мг, а отсчитываются лишь десятые доли делений шкалы (т. е. ± 0.004 мг), единичная система взвешиваний (например из числа указанных в пункте 18-м) может давать (при повторении той же системы), судя по многочисленным опытам Главной палаты, разность веса x с точностью до 0.001 мг при нагрузке до 1 кг, чему причиною служит вероятность взаимного уничтожения как большинства случайных погрешностей отсчетов, участвующих в системе, так и неточностей в определении изменений «состояния весов». Следовательно, при повторении несколько раз такой же системы, можно считать возможным определение даже десятитысячных долей миллиграмма при взвешивании килограммовых грузов, если гигроскопичность, изменение веса вытесненного воздуха, стирание чашек и другие побочные обстоятельства не будут изменять веса таких грузов и чашек весов в указанном пределе.

22) Разработка приемов точного взвешивания имеет важное значение не только для прямых целей метрологии (при выверке гирь), но и для решения многих основных задач естествознания, например вопроса о природе силы тяжести, так как, объясняя тяготение колебаниями междупланетного (светового) эфира, можно предполагать небольшое изменение веса при переходе из газообразного состояния в жидкое и обратно.

Август 1895 г. *Д. Менделеев.*

1896 Эти заметки оч[ень] важны для моего отношения к метр[ической] системе.



278 О введении в России метрич[еской] системы. Съезд 1896 г. в Ниж[нем] Новг[ороде].

1034/3а

Труды высочайше учрежденного Всероссийского Торгово-промышленного съезда 1896 г. в Нижнем Новгороде, т. VII, стр. 79—84, стенографические отчеты заседаний I и III отделов.

ВЫПИСКА
из протокола 4-го заседания

9 августа 1896 г.

Д. И. Менделеев. Говорится о введении метрической системы, а обыкновенно подразумеваются удобства метрической системы. Я буду говорить именно о введении, а не об удобствах ее, потому что последние всем, так сказать, очевидны, несомненны, и я полагаю излишним вновь говорить об этом. Не на это съезд созван, чтобы старые, известные вещи повторять. Хотя я вовсе не намерен говорить об удобствах или выгодах метрической системы, но резюмировать этот предмет необходимо, потому что в этом заключается и некоторая часть ответа, касающегося до ее введения.

К удобствам, или выгодам метрической системы принадлежит, прежде всего, десятичный ее счет. Но здесь нельзя не обратить внимания на то, что десятичный счет может быть и при каждой другой системе. Если мы возьмем какую-нибудь одну единицу, скажем сажень, и от нее десятые, сотые, тысячные, и все будем измерять в единицах или десятичных подразделениях, то вот и будет система десятичная. Следовательно, хотя, собственно говоря, эта сторона чрезвычайно важная и представляет сокращение времени и прочие выгоды: счетные, бухгалтерские и другие, но тем не менее очевидно, что не в этом центр дела.

Затем, к выгодам и особенностям ее обыкновенно причисляют широкое распространение. В этом отношении я должен обратить внимание на следующее обстоятельство. Принадлежа к великим поклонникам метрической системы и к лицам, которые давно хлопочут о ее распространении, я не закрываю глаза и на те обстоятельства, которые здесь

есть в действительности. Надо заметить, прежде всего, что учрежденная в самом конце прошлого столетия, она лет 30 не вводилась в самой Франции: хотя была узаконена, но не применялась, и только в 30-х годах нынешнего столетия начала в действительности применяться тогда, когда приказано было прежние меры окончательно оставить и никаких договоров, счетов и проч. по прежней системе не принимать, — следовательно, началась она не свободно, а по распоряжению правительства. Затем она вольно применялась многими странами, но если мы разберем какими, то увидим следующее обстоятельство. Несмотря примерно на 50 или 60 лет, в течение которых в действительности распространяется метрическая система, она немного успела захватить, и, без всякого сомнения, если бы и тут дело решалось, как и множество других дел, увы! большинством голосов, то еще неизвестно, кто бы взял верх. Следовательно, для меня лично и эта сторона предмета, т. е. широкое распространение, подлежит, так сказать, некоторому сомнению или толкованию. В самом деле, если подсчитаем число жителей в тех странах, которые пользуются системой, исходящей из фута (а сюда принадлежат Англия со всеми ее владениями, Северо-Американские Соединенные Штаты и вся Россия с ее владениями), то мы, очевидно, получим здесь преимущество.

Будучи поклонником метрической системы, я все-таки не умолчу о том, что нельзя придавать метрической системе того значения, какого она не имеет, и нужно не закрывать глаза на то, что ведь не простое упрямство, не простой каприз или инертность, как многим хотелось бы сказать, заставляют воздерживаться Англию от принятия метрической системы (хотя там еще с прошлого столетия или, во всяком случае, с начала нынешнего все время подымается речь о присоединении к метрической системе), — а есть более серьезные основания, которые заставляют англичан совершенно сознательно говорить: нет, надо подождать. А именно, вопрос в самом счете. Огромное значение имеет здесь то обстоятельство, что десятичный счет не представляет делимости на те простые числа, на которые люди привыкли делить. На 2, правда десяток делится нацело, но на 3 не делится, тогда как дюжина делится; на 4 тоже не делится, и хотя на 5 делится, но на 5 никто не делит; мы покупаем четверть фунта табаку, четверку сахара и т. д. Конечно, никто не мешает покупать пятую фунта табаку или сахара, но все-таки простые числа 2, 3, 4 — вот те части, на кото-

рые обыкновенно разделяют. Я сейчас прекращаю это перечисление удобств и разных неудобств метрической системы. Я остановился на этом только для того, чтобы показать, что эта медаль имеет другую сторону. Совсем не в этом дело, по моему мнению. [.....] Я принадлежу к числу лиц, которые убеждены, что, что бы ни делали, метрическая система будет распространяться, и думаю, что это, как и вообще распространение многих сторон французских понятий, хотя далеко не всех, ведет человечество к прогрессу. Таким образом, по моему личному мнению, принятие Россией метрической системы состоится, рано или поздно совершится, и будет к выгоде, но особенно горячиться в этом отношении едва ли следует, тем более (я перехожу к настоящей сути того, что хотел сказать), что вопрос вовсе не в выгодах метрической системы: они очень ясны, сознательны, а вопрос *во введении* метрической, т. е. новой системы. Это дело очень сложное.

Представьте себе страну (а такова наша), в которой бы не было надлежащих учреждений для выверки каких-либо существующих строго организованных мер и весов. Нужно ведь сказать, что во всем мире организовано только три системы мер и весов, и везде, когда трактуется о системе мер и весов, трактуется только о трех системах: метрической, английской и русской, потому что они одни твердо поставлены. Однако, хотя наша система мер и весов поставлена твердо, благодаря трудам бывшего хранителя мер и весов акад. Купфера, хотя самые единицы установлены прочно, хотя при введении и распространении их предположено было их широко распространять повсюду в России, но даже и те копии с них, относительно которых указ есть, не существовали. Правда, часть копий учреждениям сделана, кое-какие, но лишь немногие, разосланы, но вот, например, в указе прямо стоит, что одна копия должна быть в Грановитой палате. Нет, в Грановитой палате такой копии нет. В законе сказано, что должен храниться в Грановитой палате образец, — а нет ничего. Один только и есть образец основательный — в Палате мер и весов. Сверх того всякому, кто сколько-нибудь вникал в этот предмет, известно, что мало сделать, а нужно и проверять то, что сделано, ибо все — и платина и что бы то ни было, — если не окисляется, то стирается, если не прибывает в весе, то может убывать в весе. В России нет учреждений для выверки мер и весов или, правильнее сказать, есть, но так странно поставленные, что я бы боялся на них особенно и останавливаться, по-

тому что могло бы повести к разного рода совсем неудобным для публичного изложения частностям. Другими словами, у нас клейма кладутся городскими думами, а городские думы сами не выверяют, а часто сдают прямо все дело в безответные руки, иногда почти на откуп. Вообще ничего серьезного в деле выверки мер и весов у нас не сделано, тогда как вопрос о выверке мер и весов, о том, чтобы гарантировать публику относительно точности их, имеет первостепенное значение. По какой бы системе ни мерили, все равно желательно, чтобы, если мы покупаем, например, пуд чего-нибудь, это действительно был пуд — разумеется с известным толерансом; небольшой плюс или минус тут не важен, а важно, чтобы эта мера не была произвольная. Поэтому я того мнения, что прежде каких-либо изменений системы нужно, чтобы страна обладала, как и все страны Западной Европы, всюду распространенными точными мерами и весами, которые имелись бы в проверочных местных учреждениях. Теперь все страны, начиная с Англии и Франции до Румынии включительно, имеют такие учреждения, и у нас надобно тоже их ввести. Этот вопрос поважнее какой бы то ни было системы, потому что однообразие иным способом и не может быть достигнуто. А представьте себе состояние страны, в которой переменяется система, а нет возможности официальным образом удостовериться в правильности новых мер! Ведь сейчас к аршину глаз намотался, ведь аршин-то знает каждый и обыкновенно в кармане у себя имеет. А метр как? Ведь тут, если не будет выверки, не будет клеймения, может быть огромное количество недоразумений такого рода, которых не представит какая бы то ни было система, даже самая египетская система мер и весов, а не то что русская, которая все-таки представляет известную определенную стройность. Поэтому, для введения метрической системы я считаю, что всем тем (а к числу их принадлежу и я), кому желательно, чтобы у нас дошел черед до метрической системы, прежде всего нужно желать, просить и ходатайствовать у правительства, чтобы проверочные учреждения для мер и весов, по возможности, распространились и рассеялись по всей стране, по всей России. И начало к этому есть — Министерство финансов в настоящее время разбирает этот вопрос; соответствующие представления пойдут в ближайшее время в законодательном порядке. Но если к этому присоединится еще и пожелание съезда в том отношении, чтобы распространились в России проверочные

учреждения, то это было бы не маловажно. Я такого мнения, что пока у нас этих учреждений не будет, до тех пор толка, порядка и пользы от введения метрической системы ожидать невозможно; напротив, недоразумений, всякого рода обманов и т. п. ожидать неизбежно должно. Таким образом, подготовятся способы ко введению метрической системы. Я не вхожу в технику дела, которая очень сложна и о которой можно не только часы, но несколько суток говорить, а прямо скажу о том, что в том положении, в каком теперь дело находится, по моему мнению, иного способа, иного выхода и более правильного, удобного, законного и разумного шага быть не может, как введение метрической системы факультативное, т. е. по желанию. В настоящее время я могу употреблять не только миллиметры, но могу употреблять я не знаю, какие меры, хотя бы локоть старинный, — словом, какие всякому вольно и угодно употреблять. Но, по закону, нотариус не будет свидетельствовать акта, в котором будут иные меры, кроме узаконенных, суд будет принимать к рассмотрению только такого рода меры, которые узаконены или дозволены законом, а когда у него встречаются случаи сомнительные, он отправляет сомнительные меры в Главную палату мер и весов. Поэтому я, с своей стороны, думаю, что первым шагом ко введению и распространению метрической системы было бы факультативное дозволение ею пользоваться так, чтобы она, как дозволенная законом, могла находиться и в законных актах. Тогда надо посмотреть, что произойдет. Вот более или менее подобный порядок существует в Англии. Английский народ, — конечно, не русский, но у нас есть с ним черты сходства, хотя, конечно, есть и черты различия. У английского народа давным-давно речь идет о метрической системе. Англичане и не тупые люди, и свободолюбивые, и прогрессисты и проч., а вот что-то воздерживаются от введения метрической системы. Я того мнения, что насиловать в этого рода делах народные привычки, народную волю, народный смысл, как бы сказать, грех. Я великий поклонник метрической системы, но еще больший поклонник русского народа и его исторически сложившихся условий. Я бы хотел, с своей стороны, чтобы сам народ постепенно, имея законное право применять метрическую систему, высказался о ней. Я знаю, что казенное ведомство может очень легко приказать циркуляром такую-то систему употреблять. Но дело в том, как вот народ к этому отнесется. Приказ-то легко дать. Вот во Франции он был, и каким еще револю-

ционным правительством дан был там приказ, чтобы метрическая система была введена, а вот народ не принял ее, 30 ведь лет не принимал!

Итак, будучи поклонником метрической системы и понимая ее выгоды, я желал бы, чтобы она распространилась вольным образом в русской среде, и говорю против немедленного и насильственного ее введения, стою за факультативное ее применение, а главным образом, за введение проверочных учреждений, для того чтобы обвешивание и обмеривание, по возможности, чем-нибудь устранялось.

Временник Главной палаты мер и весов, ч. 3, 1896, стр. 93.

ПРОТОКОЛЫ СЛИЧЕНИЙ ЯРДА, нарезанного на платино-иридиевой полусажени 1895 г.,[1] и английского торгового фунта $R\frac{Pt\,Ir}{1/.A.p}$ с основными английскими прототипами по исследованию Ченея, Менделеева и Блумбаха

При заграничной поездке, совершенной в 1894 г., управляющий Главною палатою взял с собою тщательно упакованный образцовый английский фунт Avoirdupois (по перечню n° 2) Главной палаты, сличавшийся Чисгольмом в 1874 г. с одним из английских прототипов и оказавшийся тогда весящим в пустоте 7000.01483 англ. грана (=истинному весу английского торгового фунта +0.961 мг). Новое сличение этого фунта с английскими прототипами было желательно не только потому, что всякие сличения прототипов полезно повторять чрез некоторый промежуток времени, ради убеждения в неизменности образцов, но и потому, что, как известно (см.: Временник, ч. 1, предисловие, стр. VI, выноска 3*) сличение английского основного прототипа фунта PS с другими прототипами, произведенное в 1892 г., заставило предполагать потерю веса, происшедшую в PS от его применения.[2] На основании этого образцовый английский фунт, принадлежащий Главной палате, сличался не только с PS, но и с двумя другими, хорошо известными прототипами, как видно из протокола, далее приводимого в оригинале и в русском переводе.

---

[1] См. в следующих частях «Временника»: «Третий перечень образцовых гирь и мер длины Главной палаты» и «Временник», ч. 2, стр. 166.

[2] Ныне, по мнению моему, еще нельзя считать совершенно доказанным упомянутое изменение веса основного английского прототипа фунта, потому что способы, примененные при новых сличениях, не могут быть подвержены окончательной оценке, так как доныне, сколько мне известно, подробно не описаны.

* См. стр. 53. [*Прим. ред.*].

Что касается до платино-иридиевой полусаженной меры, сличенной в 1895 г. с основным английским бронзовым прототипом ярда, то необходимо обратить внимание на то: 1) что упомянутая полусажень снабжена делениями (по нейтральной плоскости) метрической системы и имеет деления как отвечающие английскому ярду, так и русскому аршину, 2) что она входит в состав возобновляемых русских прототипов, а потому будет подробно описана в полном отчете о возобновлении русских прототипов. В прилагаемом за сим протоколе сличен тот ярд этой полусаженной меры, который нанесен на ней симметрически (от концов и средины).

Январь 1896 г. *Д. Менделеев.*

Временник Главной палаты мер и весов, ч. 3, 1896, стр. 101—103.

ПРОВЕРКА АНГЛИЙСКОГО ФУНТА AVOIRDUPOIS R, принадлежащего русскому правительству, произведенная Standards Department в 1894 г.

Фунт Avoirdupois R представляет собою копию прототипа английского фунта (Imperial pound) и сделан из иридистой платины в 1874 г;[1] он хранится в Главной Палате мер и весов в С.-Петербурге. В мае 1894 г. вышеупомянутый фунт был привезен в Лондон проф. Д. И. Менделеевым, причем были соблюдены все меры предосторожности противу изменений при перевозке. Удельный вес этого фунта при 0° Ц, по отношению к воде при 4° Ц, равняется 21.3993.

Фунт R сличался:

(a) с императорским фунтом Avoirdupois PS (Imperial pound Avoirdupois PS) из платины, удельный вес которого при 0° Ц 21.1572;

(b) с парламентской копиею PC5 (изготовленною в 1883 г.) из иридистой платины с удельным весом 21.3857 при 0° Ц. Прототипы PS и PC5 хранятся в Standards Department;

(c) с парламентской копиею PC2 из платины, с удельным весом 21.1640, хранящеюся в Royal Society.

При сличениях вышеупомянутых прототипов применялись еще две добавочные гирьки из алюминия:

(1) r_1, вес которой был равен 0.01908 грана.

(2) $r = 0.00977$ грана. Гиря эта служила для определения цены деления шкалы весов.

3. Взвешивания производились в подземной весовой комнате (Jewel Tower) Standards Department'a. Весы были вполне

---

[1] Ninth Annual Report of the Warden of the Standards for 1874—5, стр. XX.

заключены в медной оправе. Отсчеты шкалы делались посредством зрительной трубы с точностью до $^1/_{10}$ деления, цена одного деления была около 0.0024 грана.

Гири брались длинными щипцами, покрытыми чистою замшею. Наблюдения колебаний коромысла весов производились г. г. Ченеем, Менделеевым и Блумбахом: положение равновесия выводилось из четырех колебаний l_1, l_2, l_3, l_4, по формуле

$$L_2 = \frac{1}{8}(l_1 + 3l_2 + 3l_3 + l_4).$$

Взвешивания были так расположены, что каждое новое определение равновесия следовало чрез промежутки в 5 минут. Каждое сличение двух гирь, A и B, состояло из 7 (семи) отдельных взвешиваний в следующем порядке:

Взвешивания	Левая чашка	Правая чашка	Равновесие
1	A	B	L_1
2	B	A	L_2
3	A	B	L_3
4	$A + r$	B	L_4
5	A	B	L_5
6	B	A	L_6
7	A	B	L_7

Из 3 первых и 3 последних взвешиваний получилось два определения разности $A - B$, выраженной в делениях шкалы, из которых было взято среднее

$$A - B = \frac{1}{2}\left(\frac{L_1 + L_3}{2} - L_2\right);$$

$$A - B = \frac{1}{2}\left(\frac{L_5 + L_7}{2} - L_6\right).$$

Из L_3, L_4, L_5 получаем цену 1 деления шкалы:

$$n = \frac{r}{L_4 - \left(\frac{L_3 + L_5}{2}\right)} \text{ гран.}$$

Для примера приводим подробности следующих сличений.

6 июня 1894 г.					$A = R$, $B = PC5 + r_1$
	налево	направо	L	L	
(1)	R	$PC5 + r_1$	57.17	57.27	$L_1 = 57.22$
(2)	$PC5 + r_1$	R	57.90	57.90	$L_2 = 57.90$
(3)	R	$PC5 + r_1$	57.70	57.74	$L_3 = 57.72$
(4)	$R + r$	$PC5 + r_1$	61.85	62.00	$L_4 = 61.93$
(5)	R	$PC5 + r_1$	58.07	58.12	$L_5 = 58.10$
(6)	$PC5 + r_1$	R	58.69	58.59	$L_6 = 58.64$
(7)	R	$PC5 + r_1$	57.68	57.72	$L_7 = 57.70$

В столбцах (3) и (4) помещены положения равновесий, наблюдавшихся одно за другим после арретирования весов.

Из (1), (2), (3) получено:

$$R - (PC5 + r_1) = \frac{1}{2}(57.47 - 57.90) = -0.215 \text{ деления}$$

и из (5), (6), (7):

$$R - (PC5 + r_1) = \frac{1}{2}(57.90 - 58.64) = -0.370 \text{ деления,}$$

или в среднем разность:

$$R - (PC5 - r_1) = -0.292 \text{ деления.}$$

Из (3), (4), (5) получается:

$$n = \frac{0.00977}{61.93 - 57.91} = 0.00243 \text{ грана,}$$

поэтому, так как $r_1 = 0.01908$ грана, мы получаем:

$$R = PC5 + 0.01908 - n\,0.292 = PC5 + 0.01836 \text{ грана.}$$

Для приведения к пустоте этих взвешиваний, произведенных в воздухе, применены были следующие данные:

(а) Объем гирь был вычислен в литрах при предположении, что фунт Avoirdupois = 0.453542 кг и что коэффициент кубического расширения на 1° Ц = 0.000026, и поэтому мы имеем при 15° Ц:

Объем PS = 0.021447 л
PC5 = 0.021218 »
PC2 = 0.021440 »
R = 0.021205 »

(б) Вес литра воздуха был принят равным

$$e = 1.294 \frac{H_0 - 0.37\,h}{760\,(1+0.00367\,t)} \text{ г}$$

или

$$= 0.08385 \frac{H_0 - 0.37\,h}{760\,(1+0.00367\,t)} \text{ гран},$$

где H_0 — барометрическое давление при 0° в миллиметрах, h — упругость водяных паров (относительная влажность принята = 67%) и t — исправленный отсчет термометра внутри весов (по шкале выверенного термометра).

Например, для 6 июня получено $H_0 = 757.7$ мм, $t = 14.9°$ Ц, поэтому $e = 1.213$ г.

Для приведения к пустоте мы должны прибавить

$$(V_R - V_{PC5})\,e = -0.0000158 \text{ г},$$

или $= -0.00024$ грана.

Поэтому R = PC5 + 0.01812 грана.
Результаты всех сделанных сличений даны в следующей таблице:

1894 г.	В воздухе $A = B + \alpha$ делений	Цена 1 деления шкалы, в гранах	Вес литра воздуха, в граммах	В пустоте, в гранах
Мая 29	$R = PC5 + r_1 - 0.305$	0.00258	1.213	$R = PC5 + 0.01805$
» 31	$R = PS + r_1 - 0.342$	0.00254	1.221	$R = PS + 0.01639$
Июня 1	$R = PC2 + r_1 - 0.281$	0.00249	1.225	$R = PC2 + 0.01394$
» 2	$PC2 = PS + 0.664$	0.00247	1.230	$PC2 = PS + 0.00151$
» 4	$R = PS + r_1 + 0.060$	0.00231	1.211	$R = PS + 0.01470$
» 5	$PC5 = PS + 0.449$	0.00249	1.215	$PC5 = PS - 0.00317$
» 5	$PC5 = PS + 0.516$	0.00247	1.215	$PC5 = PS - 0.00302$
» 6	$R = PC5 + r_1 - 0.292$	0.00243	1.213	$R = PC5 + 0.01812$
» 7	$R = PS + r_1 + 0.217$	0.00260	1.210	$R = PS + 0.01512$

Следовательно, мы имеем в пустоте:

Из сличений 31 мая, 4 и 7 июня	$R = PS + 0.01540$	грана
29 мая и 6 июня	$R = PC5 + 0.01809$	грана
1	$R = PC2 + 0.01394$	»
5	$PC5 = PS - 0.00310$	»
2	$PC2 = PS + 0.00157$	»

При сложении этих пяти уравнений получается

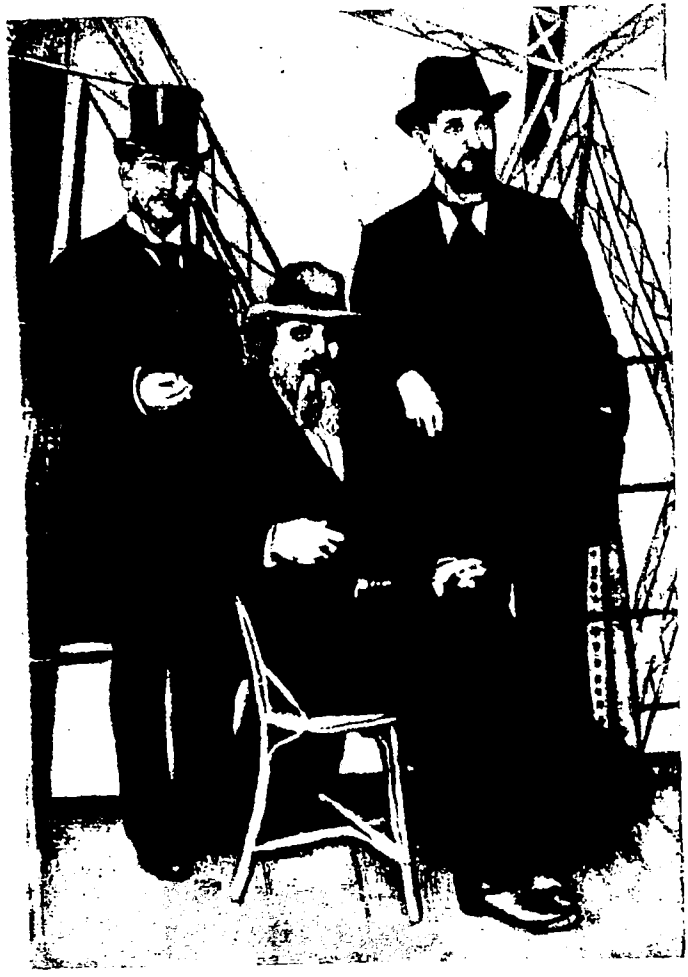
$$3R = 3PS + 0.04590 \text{ грана}$$

или

$$R = PS + 0.01530 \text{ грана.}$$

Подписали: **Ченей (H. J. Chaney)**
Д. Менделеев (составитель протокола)
Ф. Блумбах

Board of Trade, Standards Department, London, 27 September, 1895.



Д. И. Менделеев (в середине), Ф. И. Блумбах (справа), Г. Ченей (слева). 1895 г.

Временник Главной палаты мер и весов, ч. 3, 1896, стр. 104—107.

СЛИЧЕНИЕ ПЛАТИНО-ИРИДИЕВОЙ ПОЛУСАЖЕННОЙ МЕРЫ, принадлежащей русскому правительству, с основным прототипом английского ярда (Imperial Standard Yard), произведенное в Standards Department в 1895 г.

Платино-иридиевая полусажень № 4 имеет ту же самую форму в поперечном разрезе, как международные копии метра, и на ее нейтральной плоскости нанесены следующие деления:

(а) полусажень = 42 дюймам,
(б) метр,
(в) аршин = 28 дюймам,
(г) и подразделения вышеупомянутых мер длины.

С Imperial Yard'ом сличалось расстояние между третьим и тридцать девятым дюймом на полусаженной мере, причем ее положение в компараторе по отношению к Imperial Yard'у было симметрично. Сличения производились на компараторе, служащем для сличения ярдовых мер, в подземном замкнутом помещении (Strong Room) Standards Department'a. Средняя цена 1 деления двух микроскопов компаратора выводится из определений, показавших, что

0.01 дюйма = 316.10 деления на правом микроскопе
и
= 316.14 деления на левом микроскопе,

поэтому средняя цена 1 деления микрометра = 0.00003163 дюйма, или = 0.8034 μ.

Imperial Yard лежал на двух роликах с расстоянием между их осями в 540 мм, и полусаженная мера № 4 — на двух роликах с расстоянием 608 мм.

На Imperial Yard'е № 1 лежал в горизонтальном положении термометр Tonnelot № 4304. Между ярдом и полусаженью был установлен термометр Kew № 430 (со шкалою Фаренгейта), а между полусаженью и внутренним краем

ящика компаратора — термометр Tonnelot № 11158. Отсчеты термометров делались посредством микроскопа перед и после каждого ряда микрометрических отсчетов. Каждый ряд состоял из 20 микрометрических отсчетов для каждой основной (определяющей) линии.

Стержни (меры) были положены в компаратор и правильно установлены 23 сентября 1895 г. наблюдателями — г.г. Ченеем (Chaney), Менделеевым и Блумбахом; при этом стержень № 4 был ближе к наблюдателю. При этом положении стержней были сделаны наблюдения 24 сентября, и по окончании наблюдений положение стержней было переменено таким образом, что во время измерений 25 сентября ярд № 1 был ближе к наблюдателю и № 4 ближе к источникам света, состоящим из двух небольших электрических лампочек. После окончания измерений 25 сентября стержни были переложены так, что 26 сентября, во время производства измерений, стержни находились опять в том же положении, как 24 сентября.

Во время первых измерений 24 сентября освещение производилось посредством призмы с полным внутренним отражением и собирающей линзы, как это обыкновенно применяется при сличениях ярдов, но собирающая линза вместе с плоским зеркальцем, закрывающим половину объектива, оказалась дающею более постоянные результаты для измерений на платино-иридиевом стержне, и этим методом воспользовались во второй половине 24 сентября и следующих дней. Увеличение микроскопов было около 80 раз.

Всего было сделано 22 серии сличений, или 880 микрометрических наблюдений, и 132 отсчета термометров. Средние их результаты следующие:

Серия	№ 4 — № 1 = делениям	Термометры		
		№ 4304	№ 430	№ 11158
24 сентября (10 час. 20 мин. утра—1 час 5 мин. пополудни)				
1	— 13.50	17.450°	63.30°	17.270°
2	— 19.02	17.450	63.47	17.317
3	— 17.58	17.410	63.65	17.345
4	— 18.22	17.457	63.62	17.347
5	— 19.35	17.466	63.67	17.397

Серия	№ 4 — № 1 = делениям	Термометры		
		№ 4304	№ 430	№ 11158
24 сентября (3 час. 14 мин. пополудни — 4 час. 6 мин. пополудни)				
6	— 17.50	17.550°	63.75°	17.490°
7	— 18.52	17.555	63.88	17.550
8	— 19.27	17.580	63.97	17.595
9	— 18.47	17.615	64.05	17.627
10	— 20.32	17.640	64.12	17.650
25 сентября (10 час. 21 мин. утра—11 час. 2 мин. утра)				
11	— 18.20	17.340°	63.35°	17.230°
12	— 17.40	17.370	63.62	17.310
13	— 16.63	17.390	63.65	17.350
(2 час. 55 мин. пополудни—3 час. 25 мин. пополудни)				
14	— 17.63	17.450°	63.62°	17.330°
15	— 18.25	17.460	63.67	17.355
16	— 19.01	17.485	63.73	17.405
26 сентября (10 час. 25 мин. утра—11 час. 0 мин. утра)				
17	— 19.85	17.385°	63.45°	17.270°
18	— 19.55	17.400	63.60	17.340
19	— 16.68	17.410	63.65	17.375
(3 час. 29 мин. пополудни—3 час. 55 мин. пополудни)				
20	— 19.86	17.445°	63.65°	17.380°
21	— 19.51	17.460	63.70	17.422
22	— 18.15	17.470	63.75	17.450

Считая измерения, сделанные 24 сентября, только предварительными, окончательный результат может быть выведен только из измерений 25 и 26 сентября, преимущественно потому, что в этих измерениях оказывается бо́льшая правильность в изменениях температуры и наблюденных разностей мер длины. Мы имеем:

	Средняя разность из № 4 — № 1 = делениям	При средних отсчетах по Tonnelot № 4304
11—13	— 17.38	17.367°
14—16	— 18.30	17.465
Разность	—0.92	+0.098°

17—19	—18.69	17.398°
20—22	—19.17	17.458
Разность	—0.48	+0.060°

Сложением этих разностей мы получаем, что изменение температуры на 0.158° Ц соответствует изменению разности № 4 — № 1, равной 1.40 деления, или 1.1 μ. Принимая, что коэффициент линейного расширения на 1° Ц для Imperial Yard'a = 0.00001754 и для иридистой платины (при температурах около 17° Ц) = 0.00000868, следует, что разность между длиною бронзового и платино-иридиевого ярда на 1° Ц будет изменяться на 8.1 μ, или 0.158° Ц соответствует 1.3 μ. Поэтому очевидно, что 25 и 26 сентября изменения в показаниях термометров соответствовали изменениям в длине стержней.

Из измерений в эти два дня получается следующий средний результат:

(11—22) № 4 — № 1 = 18.38 деления = —0.000581 деления = = —14.8 μ.

Средние отсчеты термометров были:

	Среднее из наблюденных температур	Истинная температура по стоградусной шкале водородного термометра[1]
Tonnelot № 4304	17.422° Ц	17.332° Ц
Kew № 430	63.62 Ф	17.400 Ц
Tonnelot № 11158	17.352 Ц	17.384 Ц

Следовательно, средняя температура во время сличений, выраженная по стоградусной шкале водородного термометра, = 17.372° Ц.

Итак, общий результат:

№ 4 — № 1 = — 14.8 μ при 17.372° (по стоградусной шкале водородного термометра).

Для температур, близких к этой температуре (t), мы имеем:

$$№\ 4 — №\ 1 = 14.8\ \mu — 8.1\ \mu\ (t — 17.372°).$$

[1] См. примечание в конце.

Если принять, что нормальная температура Yard'a № 1 — 62° Ф — равна 16.667° Ц по шкале водородного термометра, то мы найдем, что при этой температуре расстояние между третьим (3-м) и тридцать девятым (39-м) дюймом на русской полусажени № 4 равно

1 yard — 9.1 μ = 35.999642 дюйма.

Так как вопрос о тождественности нормальной температуры 62° Ф и 16.667° Ц по стоградусной шкале водородного термометра в настоящее время не может быть рассматриваем как окончательно решенный, то в этом отношении предстоящий отсчет мы считаем предварительным.

Подписали: **Ченей (H. J. Chaney)**
Д. Менделеев, составитель сего протокола
Ф. Блумбах

Board of Trade, Standards Department, London, 28 September, 1895.

Примечание. Для приведения отсчетов термометров к шкале водородного термометра служили термометры Tonnelot 4303, 4304 и 4518, выверенные в Международном бюро мер и весов. Из отсчетов этих термометров выводились температуры T по стоградусной шкале водородного термометра.

Истинная температура T	Отсчеты термометров		
	Tonnelot № 4304	Kew № 430	Tonnelot № 11158
0°	— 0.045°	32.20°	— 0.039°
16.688	16.782	62.36	16.652
17.447	17.537	63.70	17.415

27 сентября все вышеупомянутые термометры сравнивались в горизонтальном положении[1] и нулевые точки были проверены в вертикальном положении, когда их резервуары находились в толченом льде.

[1] *Примечание Менделеева и Блумбаха.* Термометры при сличениях между собой находились в воде, которая сильно перемешивалась.

Временник Главной Палаты мер и весов, ч. 3, 1896, стр. 118—119.

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИЕМОВ ПОВЕРКИ МЕР И ВЕСОВ, ПРИМЕНЯЮЩИХСЯ В ТОРГОВЛЕ

В 1-й части «Временника» (стр. 103) помещены две статьи: инспектора Главной палаты А. И. Скиндера и исправляющего должность инспектора С. И. Ламанского, относящиеся к ознакомлению с тем положением, в каком находятся в настоящее время местные поверочные учреждения в С.-Петербурге и некоторых городах по западным окраинам России. Для дополнения сведений, сюда относящихся, следовало получить данные для внутренних и восточных губерний. Но сложные и настоятельные работы, касающиеся устройства самой Главной палаты мер и весов и возобновления основных русских прототипов, особенно усилившиеся в 1895 г., при незначительности числа лиц, служащих в Главной палате, позволили выполнить это только в 1896 г. В этом году исправляющий должность инспектора Главной палаты С. И. Ламанский был командирован его высокопревосходительством г-ном министром финансов в Московскую, Нижегородскую, Казанскую, Саратовскую, Рязанскую, Орловскую и Курскую губернии для ознакомления с состоянием выверочного в них дела, а поверителю Главной палаты Ф. И. Блумбаху, отправлявшемуся летом 1896 г. в Восточную Сибирь, [. . . . .] в числе членов Астрономического общества для наблюдения полного солнечного затмения, поручено было попутно ознакомиться с выверкою мер и весов в этом отдаленном крае.

Вслед за сим печатаются отчеты, представленные этими лицами. Совокупность полученных в Главной палате и в Департаменте торговли и мануфактур сведений показывает, что современный порядок выверки торговых мер и весов требует таких коренных изменений и усовершенствований, каких невозможно достичь составлением одних инструкций

для существующих в империи поверочных учреждений, а потому Главная палата должна была войти с ходатайством к его высокопревосходительству г-ну министру финансов о совокупности мер, необходимых для упорядочения местной выверки торговых мер и весов, которая доныне подлежит ведению Министерства внутренних дел и городских управ. В течение 1896 г. в Департаменте торговли и мануфактур уже начата разработка плана общей организации для введения повсеместной улучшенной выверки торговых мер и весов, но это дело требует новых законов, а потому может подвигаться вперед лишь в законодательном порядке. Описание же того состояния, в котором находится местная выверка торговых мер и весов в других странах, может быть в этом отношении весьма поучительным, а потому сверх того, что изложено в 1-й части «Временника» (стр. 116), оно дополнится статьею поверителя Главной палаты Ф. И. Блумбаха, которая будет помещена в 4-й части «Временника» и излагает порядок, применяемый для сего в Великобритании. Опыт других стран очень поучителен в отношении к способам исполнения затруднительного в разных отношениях и многосложного дела, касающегося такого всеобщего интереса, как единообразие применяемых в промышленности мер и весов.

5 декабря 1896 г. *Управляющий Главною палатою.*

Временник Главной палаты мер и весов, ч. 4, 1899, стр. 31—32.

ДОБАВЛЕНИЕ*

Существующий с незапамятных времен и повсюду обычай продавать хлебные зерна на меру или по объему представляет два важных неудобства: 1) измеряемое количество необходимо пересыпать в измерительные приборы, причем не только затрачивается много работы, но и невозможно получить точного результата, потому что он зависит от способа насыпки или от плотности заполнения, и 2) большие массы зерна, обращающиеся в хлебной торговле, требуют для измерения много времени, потому что должны быть разбиты на мелкие части для перемеривания, так как в больших резервуарах (например, в закромах) плотность заполнения, а следовательно, и объемная масса зерна, получается иная, чем в узаконенных хлебных мерах, которые повсюду имеют сравнительно небольшой объем, а именно:

В России

Четверть	вмещает	512	фунтов	воды	при	$13^1/_3$° Р
Четверик	»	64	фунта	»	»	»

Во Франции и других странах, принявших метрическую систему,

Гектолитр	вмещает	100	кг	воды	при	4° Ц
Литр	»	1	»	»	»	»

В Англии

Бушель	(Imp. Bushel)	вмещает	80	англ.	фунтов	воды	при 62° Ф
Квартер	(Quarter)	»	640	»	»	»	» »

---

* Добавление Д. И. Менделеева к статье А. Н. Доброхотова «Исследование пурки, или хлебных весов, как прибора, служащего для определения „натуры“ зерновых хлебов». (Временник, ч. 4, 1899, стр. 1—30). [*Прим. ред.*].

Взаимное отношение этих мер есть следующее:

	Четвериков	Гектолитров	Бушелей
Четверть	8	2.0991	5.7719
Четверик	1	0.26239	0.72148
Гектолитр	3.8112	1	2.7497
Литр	0.038112	0.01	0.027497
Квартер	11.088	2.9094	8
Бушель[1]	1.3860	0.36368	1

Неудобства объемного измерения количеств хлебных зерен привели к тому, что в *крупных* торговых сделках повсюду уже распространилось измерение количества хлеба по весу, так как, зная вес тары, при этом легко и скоро сразу измеряются большие количества, например целые вагоны. В России закон дозволяет (Торговый устав, издание 1893 г., ст. 661, *пр. 1*) производить измерения хлеба на вес или по объему, согласно желанию договаривающихся сторон. В С.-А. С. Штатах 31 штат (из 36) недавно уже узаконили впредь считать бушель пшеницы соответствующим 60 англ. фунтам (=66.4584 русск. фунта). Объемное измерение хлебов, таким образом, в крупных торговых сделках мало-помалу исчезает и с течением времени, конечно, совершенно уничтожится, но для малых или дробных количеств оно, вероятно, всегда сохранится. Не должно при этом думать, что в нем есть выгода и правильность, зависящие от разной степени сухости зерна, потому что данное количество зерна, высыхая, изменяет не только свой вес, но и свой объем; тот и другой зависят также и от степени чистоты (отсутствие соломы, сору, пыли и т. п.). Поэтому всякое измерение хлеба может быть правильным только при условии определенной степени сухости и чистоты.

Пурка, или прибор для определения «натуры» хлеба назначается, в сущности, не для того, чтобы переходить от счета на вес к счету на объем или обратно, хотя «натура» хлеба (вес в фунтах четверти хлебных зерен) и позволяет делать этот переход, а назначается она для того, чтобы судить, до некоторой степени точности, о качестве зерна. Этот прием не может претендовать на значительную точность

[1] Североамериканский бушель менее этого и=0.96944 англ. бушеля.

уже по той причине, что способ насыпки зерна явно и сильно влияет на определение «натуры», как показано, между прочим, при исследованиях Ф. Ф. Селиванова и А. Н. Доброхотова.

Точное суждение о качестве хлебных зерен может дать лишь подробный анализ зерна, показывающий не только количество и качество посторонних подмесей и степень (количество) влажности, но и содержание питательных начал (белковых и крахмальных), ибо они определяют истинные качества зерна и его ценность с желаемою точностью. Но обычай и современные условия хлебной торговли (особенно же неравномерность партий) не позволяют прилагать здесь точных приемов анализа, а потому заставляют прибегать к такому несовершенному способу, какой представляет пурка, или хлебные весы.

Изучение этого прибора поручено было Главной палате мер и весов Департаментом торговли и мануфактур для той именно цели, чтобы найти возможно лучший, так сказать, нормальный прием, который мог бы служить руководством в практике обширной хлебной торговли России. Разрешая эту задачу, Палата прежде всего изошла от приема, применяемого Военным министерством при приеме хлебов, потому что нашла в нем одном ручательство за точность действительного веса четверти до $^1/_4\%$, тогда как другие приемы дают погрешность, часто достигающую и даже превосходящую целый процент. Только при пользовании интендантским способом измерения получилась возможность приступить к изучению пурки. Но здесь, вследствие малости взвешиваемого объема зерен, оказалось очень ненадежным быстро всыпать зерно в малую мерку, как это делается в большинстве пурок, потому что тогда не получается согласных чисел и определение зависит или от случайностей, или от произвола наблюдателя.

После многих проб Ф. Ф. Селиванов нашел верный способ наполнения пурки зерном, дающий лучшие результаты, чем в иных пурках, а А. Н. Доброхотов устроил на основании этого и самую пурку, которую можно считать нормальною и потому рекомендовать ее во всех случаях сомнительных или разноречивых, оставляя, быть может, для пользования в обычной практике пурки, подобные исаевской или германской, в показаниях которых разноречий гораздо больше, чем в предлагаемой Палатою, но пользование которыми представляет свои удобства при широком распространении в практике.

Но там, где будут требовать сразу всей возможной точности определения (около до $^1/_2\%$ при ржи и пшенице), или там, где показания разных наблюдателей не сойдутся из-за пользования менее совершенными приборами, пурка Главной палаты может иметь немалое решающее значение, хотя ее применение и потребует каждый раз вместо одной, быть может, до 6 минут времени. Однако ж важное свойство ее то, что она дает показания, совершенно независимые от доброй или злой воли лица, ее применяющего, чего нельзя сказать про большинство других ныне распространенных приборов этого рода.

Май 1897 г. *Д. Менделеев.*

Календарный вопрос занимал меня сильно, но все же считаю его пустым и незначащим, хотя думаю, что в нем сказал свое слово ясно: «Новый стиль, как и старый, ошибочен» см. 390 = = 1047/16

363 Календарное объединение. 1900 г. (газ[ета] «Россия»). 1044/47

364 Заявление Менд[елеева] о стиле*. 1899 г. 1044/48

* См. стр. 778—782 настоящего тома. *[Прим. ред.]*.

Газета «Россия», 1900 г., 16 мая, № 379.

КАЛЕНДАРНОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ*

Мирная политика и промышленное развитие так настроили русские умы в последние годы, что и у нас явилась некоторая потребность объединения со всем миром во всем том, что не влечет к какому-либо ущербу в самостоятельности. Меры длины и веса, счет времени и единообразие монеты во всем свете стоят при этом на первом плане, так как перемены здесь все же легче достижимы, чем во многом ином, и если тут будет удача, — идти далее будет много легче. Первые шаги на этом пути уже сделаны многими странами, а в числе их и Россиею, так как, по закону, высочайше утвержденному 4 июня 1899 г., с 1 января 1900 г., при всяких сделках — по соглашению договаривающихся сторон — стало возможным применять в империи «международные» метрические меры «наравне с основными российскими мерами» (ст. 11) и отношение одних к другим узаконено. Хотя пылким людям хотелось бы сразу более резкого шага, но он был бы неблагоразумен, пока повсеместная выверка торговых мер не устроена на прочных основаниях. Оттого ли, что мне пришлось принять участие в разработке указанного предмета, или по какой иной причине — не знаю, но вот уже года четыре, как стали с разных сторон обращаться ко мне с вопросом об исправлении нашего календаря.[1] Ни о чем подобном ни в каком публичном собрании или издании мне говорить не приходилось, и если теперь я берусь за перо, для посильного разъяснения календарного вопроса, то главным образом по той причине, что высокоуважаемый академик, астроном Ф. А. Бредихин в газете «Россия», от 30 апреля (№ 363), стал выяснять предмет, но

---

* В газете «Россия» имелось следующее примечание редакции: «Фельетон написан был проф. Д. И. Менделеевым как возражение на письмо акад. Ф. А. Бредихина». [*Прим. ред.*].

[1] Напрашивается уже и вопрос о монетном единстве, тем более, что золото взяло всюду верх над серебром. Об этом тоже думаю когда-нибудь поговорить.

его статья мне кажется до того одностороннею, что об ней нельзя молчать, когда сколько-нибудь вник в предмет, а мне пришлось это сделать, потому что по распоряжению господина министра финансов С. Ю. Витте я принимал участие в комиссии (из представителей всех ведомств), собиравшейся прошлой весной и зимой по инициативе Русского астрономического общества и разбиравшей сложный календарный вопрос со многих сторон. Так, например, недавно безвременно скончавшийся профессор Духовной академии В. В. Болотов подробно выяснил комиссии историческую и церковную стороны «нового» стиля, мало кому столь хорошо, как ему, известные, и здесь уместно высказать сожаление о том, что В. В. Болотов не успел печатно изложить весь свой богатый материал по этой части предмета.

Для людей, которым чужда сущность календарного вопроса, кажется, что все дело состоит в нахождении удобного способа пропустить 13 дней, которыми наш стиль отличается от западноевропейского, над проверкою которого они не задумываются. Лица старого русского закала и слышать не хотят о «новом» стиле уже потому, что он «папский» и тесно связан с особою пасхалией,[1] нашею церковью не признаваемою. Одни видят все дело только со стороны объединения, другие — только со стороны различия Восточной церкви от Западной. Астрономы, а между ними и Ф. А. Бредихин, видят во всем календарном вопросе только среднее число дней в году и совершенно забывают о том, что календаря нельзя составить, не назначив исходных дней для начала счета, а потому не обсуждают, правильно или нет установлена разность «нового» стиля от «старого». Разбирать всю эту сложность до дна мне нет ни охоты, ни времени, и я стараюсь ограничиться одною численною стороною дела, тем более, что именно она составляет тему вышеуказанной статьи Ф. А. Бредихина и в численных отношениях — при всей их арифметической простоте — многие запутываются.

Стараясь быть возможно кратким, все же для полной ясности мне необходимо начать расчет с того 1582 г., когда знаменитый папа Григорий XIII[2] повелел:

---

[1] Т. е. со способом расчета того воскресного дня, на который должно в данном году падать празднование Пасхи по правилам церкви.

[2] Папу Григория XIII я назвал знаменитым не по одному тому, что он сменил стиль, но и по множеству иных причин, особенно же потому, что он сумел, несмотря на усилившийся уже протестантизм, найти новые способы укрепить католицизм. Это он содействовал распространению и расширению круга действий иезуитов, этих столпов католицизма. Это он

I) считать на другой день после 4 октября сразу 15 октября, т. е. выпустить ровно 10 дней, и

II) вслед затем считать не високосными, а простыми годами все года, делящиеся без остатка на 100, кроме тех, которые делятся (как 1600, 2000 и т. д.) без остатка на 400, т. е. в 400 лет выпускать по три дня «старого» стиля.

Эти два папских повеления, взятые вместе, и дают «новый» или — точнее — «григорианский» стиль. Разделить два указанные повеления нельзя не только потому, что они содержатся в одной булле, но и потому, что первое повеление дает не ту среднюю длительность года, как второе, а повеление второе дает не тот пропуск в счете дней, какой указан в первом повелении. Вот эта-то сторона дела и упущена высокоуважаемым Ф. А. Бредихиным, ее мне прежде всего и следует выяснить, потому что я вижу в несоответствии I повеления со II главную причину, по которой григорианский стиль следует считать неверным и содержащим внутреннее противоречие, а потому и неприемлемым.

Дело тут просто. В 1582 г. протекло с Рождества Христова уже 15 годов, делимых без остатка на 100, и из них 3 года, делящихся на 400 без остатка, следовательно, по II повелению надлежало прибавить 12, а не 10 дней, как повелел папа.

Покажем эту несогласуемость I и II повелений еще иным способом, а именно сравнением средней длины года по старому и новому стилям. Первый установил високосы в 366 дней для всех годов, делящихся без остатка на 4, а для остальных лет по 365 суток в (простом) году, следовательно, в каждых последовательных годах 1461 сутки, а потому *средняя* длина года по юлианскому стилю — 365.25 средних солнечных суток. Григорианский стиль сохранил деление годов на простые и високосы и в каждые 400 лет принял (не 100, как в старом стиле) 97 високосных годов, следовательно, *средняя* длина года по григорианскому стилю = 365.2425 средних солнечных суток. Разность этих чисел = 0.0075 суток. При ее умножении на 1582 получаем 11.865 суток, а для 1600 г. — ровно 12 суток, а по повелению I разность установлена для этих лет в 10 суток. Она, по ком-

церковно прославлял Варфоломеевскую ночь. Это он успел часть армян присоединить к католицизму. Это он посылал (хотя и безуспешные) торжественные посольства в Швецию, чтобы оторвать ее от протестанства, и в Россию, чтобы склонить ее к католицизму. Это он сумел окончательно разорвать все связи с Восточною церковью. Умел он и воевать, а сперва был профессором.

бинации I и II повелений, только в 1700 г. стала равна 11 суткам, в 1800 г. 12, а с 1900 г. (вплоть до 2100 г.) стала равна 13 суткам, но позднейшим векам должна отвечать и бóльшая разность числа дней.

В этом расчете нет ни слова об истинной, астрономической длине года, а несмотря на то, все же ясно, что для логической и арифметической последовательности папе Григорию XIII в 1582 г. следовало повелеть пропустить не 10, а 11 или 12 дней.

Ф. А. Бредихин в заключении к своей вышеупомянутой статье говорит, что следует «если менять стиль, то только на григорианский». Очевидно, он имел в виду только длительность календарного года, т. е. повеление II, а упустил из виду повеление I, т. е. число дней, составляющих разность двух стилей, и несоответствие I с II.

Мне кажется, что многие извинят пропуск, сделанный проф. Ф. А. Бредихиным, так как все привыкли к принятой разности стилей и никто не может думать о логической погрешности, содержащейся в знаменитом папском повелении. Но я полагаю, что всякий спросит: да отчего же и для чего же папа Григорий повелел выпустить 10, а не 11 или 12 дней? Может ли быть, чтобы он и его ученые коллегии не посчитали, как следует?

И не все ли было равно папе пропустить 10, 11 или 12 дней, устанавливая «новый», исправленный стиль на основании научных данных об истекших днях года?

Нет — не все равно; случайности, прихоти или неизмеренной погрешности счета здесь и следа не было, а умысел тут был иной, состоящий первее всего в установлении новой пасхалии, да в том, чтобы, отвечая духу времени, иметь право сказать, что католицизм опирается на науку, а схизма не хочет ее знать. Ни 11, ни 12 дней не подходили к правилам католической пасхалии, а 10 суток разности подошли, их и взяли. Только разъяснить всю эту путаницу я, пожалуй, не сумею, боюсь напутать, а потому уже предоставляю другим, так как мое писание относится до гражданских, а не до церковных разноречий, до высокоуважаемого Ф. А. Бредихина, а вовсе не до его святейшества папы римского, а мне остается сказать еще не мало — об отношении между календарным стилем и истинною длиною года.

Но предварительно необходимо сослаться на то, что счет дней в году с 1 января[1] и счет лет от эпохи Рождества

[1] Считают — по давнему соглашению и без всяких протестов — начало года не со дня рождества, а со дня обрезания (1 января). Перемены тут,

Христова, установленной (условно, по соглашению) в первые века христианства,[1] не возбуждает никаких разноречий, а в деле календарном вся суть в соглашении, в логической последовательности следствий, вытекающих из принятых начал, и в возможно совершенном соответствии календаря с течением дел в природе, т. е. с истинною длиною солнечных годов, обыкновенно (опять условно) считаемых от одного весеннего равноденствия до ближайшего следующего. Вот к этому-то последнему предмету теперь и обратимся.

Истинную длину года Ф. А. Бредихин принял в своей статье равною

365.24220 средних солнечных суток[2]

и указал, совершенно правильно, что величина эта не остается вечно постоянною. Но тут уважаемый академик так мало выяснил дело, что его статья может быть понята ложно, тем более, что автор не раз указывает на неполноту сведений об изменении длины года, а в конце статьи советует отложить изменение календаря до того времени, когда астрономы «строго исследуют изменчивость» длины года. А так как Ф. А. Бредихин ни словом не обмолвился ни о степени изменчивости в длине года, ни о мере погрешностей, в ней[3] неизбежных, то читатель может представить себе, что тут легко ждать чего-нибудь неожиданного и что, пожалуй, юлианская (365.25) или григорианская длина года (365.2425) может оправдаться не сегодня, так завтра, для прошлого или настоящего времени при «строгом исследовании».

Темноту эту в статье Ф. А. Бредихина, которая произошла, очевидно, только от недомолвок, я постараюсь рассеять, притом настолько, чтобы и впредь читатель остался

повидимому, и не следует искать, так как на обрезание можно взгляну ть как на последнюю дань Ветхому завету и начало Нового. Главное же, т. е общее признание начала года с 1 января, здесь уже существует.

[1] Богословы, историки и хронологи ныне единогласно признают, что истинный год рождения Иисуса Христа не может быть точно установлен, но он твердо обусловлен отцами церкви, и тут нет разноречия между Западом и Востоком.

[2] В своих сообщениях председатель Астрономического общества высокоуважаемый проф. С. П. Глазенап принял ее по Ньюкомбу = = 365. 24219879 для эпохи 1900 г., а в моем сообщении комиссии принята длина = 365.24219±0.00001 средних солнечных суток. Три эти числа совершенно между собою тождественны — в пределах возможных (и неизбежных) погрешностей. Это важно заметить.

[3] Как во всяком измерении или числе, получаемом из опыта или из наблюдения.

убежденным в том, что «астрономическая точность» есть одна из образцовых, примерных в науках точных.

Прежде всего напомню, что при всей свободной подвижности небесных тел и при всем кажущемся непостоянстве небесных явлений, для них, а особенно для всей солнечной системы, и теоретически — и на основании сравнения наблюдений современных с древнекитайскими, так строго доказана постоянная устойчивость, как это не сделано ни для чего иного в мире.

В этом слава Лапласа; это азы современной науки. Здесь можно их вспомнить, но не место объяснять подробнее. Тем не менее, длина тропического года все же не строго постоянна. Но какова мера этого непостоянства? И может ли эта мера влиять на установку годов и дней от Рождества Христова до современной эпохи или хоть на срок в 4000 лет?[1] Вот те вопросы, которые, мне кажется, требуют ответа ввиду пропусков, сделанных в статье уважаемого Ф. А. Бредихина. Попытаюсь же на них ответить с возможною краткостью. Но для этого сперва вновь необходимо напомнить, что наблюдения (и опыты) не дают абсолютных или математически строго точных величин (измерений) и что всякое опытное число содержит некоторую погрешность. В обыденной жизни, даже в весе монет (допуск или терпимость, tolérance) довольствуются, даже при очень большой степени точности, десятитысячными частями всей меры.[2] Но при научных исследованиях степень точности возвышают до возможного предела, и чем более развивается опытная наука, тем большей точности достигают и ее лучшие измерения. Так, в прошлом веке (XVIII) при весе в 1 кг точность не превосходила миллиграмма, т. е. погрешность достигала до ± 0.000001 (одной миллионной) части, а в конце текущего XIX в. точность увеличена, по крайней мере, в сто раз, т. е. погрешность может низводиться до ± 0.00000001 части. Едва ли это не составляет предела современной точности, так как весы и способы взвешивания идут впереди других видов измерений. И если бы мы применили эту точность к длине года, то могли бы ждать в ее определении погрешности

---

[1] Идти еще далее — значило бы очень мало, потому что до истечения 2100 лет от нашей эпохи все люди придут, наверное, ко многим видам объединения и успеют легко поправить маленькие недочеты наших знаний, если они окажутся.

[2] Так, например, продавая или покупая пуд дорогого материала, не гонятся за частями золотника, тем более, что и обычные весы для определения их недостаточно «чувствительны».

$\pm$ 0.000004 суток. Но такая часть суток — менее полусекунды. Такой дроби — при длине года — уловить ныне нельзя и думать, а потому, если мы примем в длине года возможную погрешность в $\pm$ 0.00001, даже $\pm$ 0.00010 суток, то не обидим современной точности астрономических определений[1] длины года, а потому выбор между двумя стилями, разнящимися в длине года на величину не более 0.00010 суток,[2] будет ныне совершенно произволен и может определяться только (если не вкусами или капризами избирающего) какими-либо побочными обстоятельствами, а не данными об истинной длине года. Иное дело такая разность средней длины года, как между юлианским стилем (365.25) и григорианским (365.2425) или между ними и истинной длиною года — тут разность явно более, чем возможная погрешность наблюдений.

Обращаясь к природным изменениям в длине года, должно заметить прежде всего, что эти изменения едва превосходят погрешности наблюдений даже в течение целого столетия. Оттого-то их и называют «вековыми». Мой собрат по Международному метрическому комитету* и друг, известный берлинский астроном Фёрстер, продолжающий заниматься указанною стороною предмета, недавно (в письме от 21 марта н. с. 1900 г.) писал мне, что по существующим данным должно принять (судя по весенним равноденствиям)[3] *среднюю* длину года равною

365.24228 средних солнечных суток

для эпохи от Рождества Христова до наших дней, а от 1900 г. до 4000 г.:

365.24244 средних солнечных суток.[4]

---

[1] Отсюда уже ясно, что говорить о применимости календарного стиля с точностью до 1 дня на 10 000 или более лет нет ни малейшего ныне основания — по самой природе предмета.

[2] Такой случай представляется при сравнении григорианской (365.24250) длины года с хаямовской (365.24242). Поэтому об Хаяме уж лучше умолчать.

[3] Определяя длину года по осенним равноденствиям, получили иное число (ныне 365.2420 суток), чем для весенних равноденствий (ныне 365.2423 суток), но и здесь разности невелики. Притом, для весенних эпох длины года — с веками — увеличиваются, а для осенних — уменьшаются, судя по письму многоуважаемого Фёрстера.

[4] В этом числе, конечно, нет той степени точности, как в предшествующем. Среднее из обоих дает для наших дней 365.24236 суток, но в этом числе едва ли погрешность менее $\pm$ 0.00015 суток, а тогда числа Фёрстера, Ньюкомба и других согласны в пределах погрешностей.

* Международный комитет мер и весов. [*Прим. ред.*].

Это показывает, что в целое столетие длина одного года изменяется не более, как на 0.000008 суток, т. е. менее чем на 1 секунду (по времени — в 100 лет), и при том длина года увеличивается с течением веков.

Таким образом, в известной ныне и признанной истинною длине года можно ожидать для эпохи от Рождества Христова до 4000 г. изменений в пределах не более, как

от 365.2422 до 365.2425 суток,

если принять число Фёрстера; если же принять число Ньюкомба для нынешней эпохи (365.24220 суток), а вековые изменения такие, какими их дает Фёрстер, то получаются пределы

от 365.2421 до 365.2424 суток.

Числа эти, конечно, не тождественны, но все они будут содержаться в среднем числе (365.24230 суток), если мы скажем, что в этом числе содержатся возможные отступления, равные ± (плюс, минус) 0.0002 суток, потому что, прибавляя к среднему это число, получается высшее из написанных чисел, а отнимая, — низшее. И потому ныне можно сказать, что длина каждого одного года от Рождества Христова до 4000 г. равна

365.24230±0.00020 суток,

т. е. не более 365.2425 и не менее 365.2421 суток. Средняя же длина года за весь промежуток (или длина года в наше время), *наверное*, не выходит из указанного предела.

Надеюсь, что почтенный Ф. А. Бредихин с этим выводом согласится, а я вперед соглашаюсь с тем, что желательна еще бóльшая степень точности (эта = 5 десятимиллионным частям всей длины года) и что ее можно достичь. Но для календарной реформы в наше время и для показания недостаточной точности григорианского календаря современная астрономическая точность совершенно достаточна. Если это, покажу, то буду уже близок к концу своей статейки.

Две десятитысячные суток в год дают целые сутки только в 5000 лет. Следовательно, современная погрешность наблюдений, вместе с вековою изменчивостью длины года, не окажут влияния на календарь до 4000 г.

Вычитая из средней длины юлианского года (365.25 суток) истинную длину года и умножая разность на 1900, получим, что наш стиль разнится от истинного на 14.63±0.38 суток,

а не на 13 — как от григорианского стиля. Следовательно, этот последний не верен, что и требовалось доказать. Он был не верен в XVI в., когда его сочинил папа Григорий, он не верен и ныне, не станет верным и никогда, хотя бы средняя длина года и была в нем выбрана наиболее удачно и даже совершенно верно.

По отношению к выбору такой системы поправки юлианского стиля (ибо и григорианская система есть только поправка юлианской, так как, выпуская некоторые високосы, она все же взяла високосы, введенные юлианским стилем), поправка, при которой средняя длина года выходила бы близкою к истинной длине его, — я соглашусь на всякую систему, которая была бы не хуже григорианской. Но последнюю принимать не рекомендую, во-первых, потому, что она тесно связана с 10 днями пропуска в 1582 г., а их признать невозможно и нелогично, а нам и тем более. Во-вторых, потому, что в 400-летний григорианский период, очевидно, будут года и целые столетия, когда неверность с астрономическими годами будет превосходить целые сутки и даже двое, а этого легко избежать, взяв 128-летний период Медлера. Период этот не есть хитроумное измышление, а совершенно естествен, так как разность истинной длины года от юлианской равна

$$0.0077 \pm 0.0002 \text{ суток},$$

а потому целые сутки накопятся в течение

$$129.9 \pm 3.4 \text{ года}.$$

Из чисел, делимых без остатка на 4, самое близкое есть 128 лет. Это и есть число Медлера. Но по смыслу добавки ± 3.4 года *можно* взять и 132 года (как предложил Хаям), но 124 года взять уже нельзя (а это число, правда, ради академической шутки, предложил Ф. А. Бредихин). Число же крайнее наибольшее (133.3 года), или григорианское, непригодно, не только потому, что упирается в предел, но и потому, что не делимо без остатка на 4, а годны в дело только периоды, делимые без остатка на 4, потому что тогда просто делать поправку юлианского стиля и, что всего важнее, тогда разность от истинного года никогда не будет превосходить одних суток. Прибавлю к этим мотивам в пользу Медлеровского числа, что оно найдено и указано русским астрономом, а дело ведь идет об *улучшении стиля в России*.

Не обойду, однако, и той стороны дела, что, отвергая григорианский стиль и составляя новый «русский», Русское астрономическое общество и члены его Календарной комиссии не закрывали глаза на необходимость склонить к нему другие народы, чтобы достичь единения. Но если дело наше правдиво и разумно, согласно с наукой и со стремлением к единению в истине, то оно будет говорить само за себя, и есть полная надежда, что «русский» стиль (т. е. I пропуск около 1900 г. 14 дней и II пропуск високосов чрез каждые 128 лет) будет признан со временем повсюду. Приняв его, Россия будет одним днем впереди Запада и, что важнее, ближе всех к истине. А если примем мы, — они, уверен, догонят.

Считаю не излишним закончить свою статью выводами, выражающими мое личное мнение в наиболее сжатом виде:

1) Единение всего христианского мира в вопросе об общем календаре возможно ныне же. Оно достойно того, чтобы составить предмет международного обсуждения и соглашения, конечно, в духе истины и братолюбия, пролагающих и без того себе дорогу в умах и сердцах людей.

2) «Старый», или юлианский календарь, составивший в свое время важный прогрессивный и объединяющий шаг вперед, должно считать ныне неверным по отношению к средней длине года, а потому он требует поправки.

3) «Новый», или григорианский стиль, хотя ближе к истине по отношению к длине года, все же содержит явные и легко устранимые неточности, особенно же то, что признает ныне разность от юлианского стиля на 13 дней, а, сообразуясь с истинною длиною года, юлианский должен быть исправлен на 14 дней.

4) Русское астрономическое общество, предложившее особый «русский» стиль, исправляющий недостатки «старого» и «нового» стилей, положило правильное начало для международного — включая и весь восток — соглашения, а потому русским научным силам, казалось, следовало бы содействовать выработке усовершенствованного календаря, выясняя разные стороны этого сложного предмета.

Париж
9 (22) мая 1900 г. *Д. Менделеев.*

Энциклопедический словарь Ф. А. Брокгауз и И. А. Ефрон, т. XXXVIA (1902), стр. 882—889.

ФУНТ

Фунт *русский* — по ст. 1-й «Положения о мерах и весах», высочайше утвержденного 4 июня 1899 г., определяется следующим образом: «Ст. 1. Основанием российских мер и веса (массы) служит фунт, согласованный с платиновым образцом 1835 г., приготовленным по бронзовому золоченому монетному фунту 1747 г., и выраженный в образцовом фунте (прототипе) из иридистой платины, носящем знаки „H 1894" и равняющемся сорока миллионам девятистам пятиII
десяти одной тысяче двум стам сорока одной стомиллионной части международного килограмма (с точностью стомиллионной доли килограмма».[1] Это определение можно формулировать так: 1 фунт русский $= 0.40951241 \pm 0.00000001$ кг. Объем прототипа русского фунта

$$= \frac{0.40951241}{21.51} [1 - 0.000026 (16.667 - t)] \text{ л.}$$

Так как с XVIII ст. и доныне установление исходных единиц массы или веса произведено согласно строгим научным требованиям только для килограмма, английского и русского фунтов, то считаю полезным, сверх краткого исторического очерка, описать как сами исходные образцы русского фунта, так и способы, примененные Главною палатою мер и весов (см.) при возобновлении прототипа русского фунта, тем более, что отчет «Возобновление прототипов в 1893—1898 гг.» еще не появился в свет вследствие затруднений в печатании и выверке массы численных данных, помещаемых в этом отчете.[2]

---

[1] Удельный вес сего прототипа фунта, при температуре в шестнадцать и две трети градуса (по стоградусному международному водородному термометру), равняется двадцати одному целым и пятидесяти одной сотой по отношению к воде при ее наибольшей плотности; коэффициент кубического расширения сего прототипа на один градус (по вышеуказанному термометру) равняется двадцати шести миллионным частям.

[2] Печатание отчетов о возобновлении прототипов всегда требовало продолжительного времени и в других странах, а также и при восстанов-

Охранение верности мер и весов составляло издавна предмет заботливости русского правительства. Первоначально заведывание весами поручалось духовенству, впоследствии оно перешло к приказам, а затем, с преобразованием в начале XVIII ст. приказов в коллегии, передано этим учреждениям, причем уже с половины XVIII ст. главное заведывание мерами и весами принадлежало, до известной степени, Камер-коллегии. Но как ранее этого времени, так и долго спустя после того не существовало таких учреждений, которые специально заведывали бы поверкою как образцовых, так и торговых мер и весов. В царствование императрицы Анны Иоанновны сделана была попытка к организации центральной, а равно и провинциальной поверочной части, и был учрежден для разработки этого вопроса особый комитет, но труды его ограничились изготовлением в 1747 г. образцового русского фунта и определением нормальной величины аршина, послуживших исходом и для ныне употребляемых мер. В конце XVIII ст. изготовление всех вообще мер было предоставлено казенным чугунолитейным заводам, которые вместе с тем и выверяли, и клеймили эти меры.

Только в начале первой половины XIX ст. высочайше учрежденною в 1832 г. комиссиею для приведения в единообразие мер и весов в Империи были сведены в одно целое прежде действовавшие и выработанные вновь постановления о мерах и весах. Для той же комиссии, состоящей из представителей разных ведомств, и были изготовлены акад. А. Купфером с возможною для того времени точностью образцы русских сажени и фунта, по одному экземпляру которых было передано на хранение на Монетный двор и в московскую Оружейную палату.

Так как всякое возобновление прототипов имеет своею основною задачею воспроизведение в новых, возможно более совершенных образцах, чем прежде бывшие, прежних прототипов, чтобы чрез возобновление не нарушились основы принятой системы, то и новый прототип фунта был устроен в 1835 г. акад. Купфером по равенству с фунтом 1747 г.

лении русских прототипов в 1835 г. Так, при устройстве образцов метра и килограмма в конце XVIII ст. (1799) отчет об этом был опубликован лишь в начале XIX ст. (1810). При восстановлении английских прототипов в 1834 г., отчет появился лишь чрез 21 год после этого (1855). Наконец, при установлении новых прототипов килограмма и метра Международною метрическою комиссиею в 1872—1889 гг. отчет о сравнениях килограммов был опубликован лишь в 1898 г. При Купфере, отчет о возобновлении русских прототипов в 1835 г. появился в печати лишь в 1841 г.

причем сверх того он определен еще и тем, что фунт воды (при взвешивании в безвоздушном пространстве) занимает при $13^1/_3°$ Р объем 25.019 куб. дюйма.[1] Такой способ определения отношения между единицами веса и длины, принятый также в английской системе парламентскою комиссиею 10 апреля 1816 г. (кубический фут воды при $56^1/_2°$ Фаренгейта весит 1000 унций или $62^1/_2$ фунта Avoirdupois) и в метрической системе с начала XIX ст. (вес кубического дециметра воды при 4° Ц принят равным 1 кг), несмотря на свои удобства и простоту, не удержался, однако, по причине его недостаточной точности, так как веса определяются вообще точнее, чем измерения длины. А потому, при следующем, произведенном в 1893—1898 гг., возобновлении прототипа русского фунта в Главной палате мер и весов, хотя и предположены (а отчасти и выполнены) обширные исследования по определению веса кубической единицы (метра) воды, тем не менее самое возобновление прототипа русского фунта выполнено от этого независимо. Это последнее возобновление прототипа русского фунта можно считать начатым в 1893 г., когда, единовременно с рассмотрением проекта учреждения Главной палаты мер и весов, министром финансов С. Ю. Витте был внесен в Государственный совет также и проект о необходимости возобновления основных прото-

---

[1] Приводим из Полного собрания законов именной указ 1835 г. 11 октября, данный сенату, распубликованный 7 ноября 1835 г., *О системе российских мер и весов*: Пункт 2. «Принять за основную единицу Российского веса образцовый фунт, сделанный комиссиею согласно с выведенным результатом, что российский, или английский кубический дюйм воды при температуре $13^1/_3°$ Реомюра в безвоздушном пространстве весит 368.361 доли, или что объем российского фунта той же воды равен 25.019 английским кубическим дюймам, что составляет совершенное равенство с известным золоченым фунтом Санкт-Петербургского монетного двора, сделанным в 1747 г. и служащим с того времени основанием Российской монетной системы». Считаю долгом напомнить (см. Временник, ч. 1, стр. 88*), что приведенные в законе числа явно указывают на степень погрешности, допущенной в определении фунта при помощи воды, так как 368.361 при уможении на 25.019 дают величину бо́льшую, чем 9216 долей, т. е. бо́льшую, чем число долей в фунте, а именно 9216.023859, а потому истинный вес русского фунта должно определять по его прототипу, а не по весу известного объема воды, который, очевидно, приведен лишь как дополнительный, но не абсолютный, способ определения веса русского фунта. Такое же заключение вытекает из того, что при определении фунта в кубических дюймах воды даны лишь тысячные доли, следовательно десятитысячные, несомненно, считались определенными без достаточной точности, а одна десятитысячная доля кубического дюйма воды весит около 0.0368 доли фунта (или около 1.6 мг).

* См. стр. 99. [*Прим. ред.*].

типов мер длины и веса, так как существовавшие до того времени прототипы, устроенные, как мы видели выше, еще около 60 лет тому назад (1835), не могли по своим качествам отвечать современным научным требованиям, не представляли гарантий своей неизменности и не имели узаконенных, отдельно хранимых, основных копий, что еще раньше принято во Франции и Англии. Такой проект господина министра финансов, одобренный Государственным советом, был утвержден высочайшею властью 8 июня 1893 г. вместе с Положением о Главной палате мер и весов. При этом было указано, чтобы новые русские прототипы были сличены с международными, так как Россия с самого начала существования Международной метрической комиссии участвовала в ней чрез своих представителей и получила точные копии килограмма и метра. Результатом этого указания и были выражение фунта в килограммах и статья 11 (см. далее) Нового положения о мерах и весах 1899 г.

За исходный пункт для возобновления прототипа фунта был взят платиновый фунт, изготовленный акад. Купфером по сравнению с золоченым фунтом Монетного двора 1747 г. и сохранявшийся после Купфера в Депо образцовых мер и весов, откуда, по преобразовании Депо в Главную палату мер и весов, названный фунт был передан туда бывшим хранителем мер и весов генералом В. С. Глуховым. Золоченого фунта Монетного двора 1747 г. к тому времени налицо не оказалось, а те золоченые (из медного сплава) копии его, которые акад. Купфер сличал, несомненно, с прежним (1747 г.) прототипом, хотя отысканы в имуществе, полученном Главною палатою, но оказались отчасти изменившими свой вес, как можно было ожидать и по их внешнему виду: один оказался равным 409.510 г, другой 409.508 г. Что же касается до основного прототипа русского фунта, то он по качеству своего материала (платина), по своей укупорке в плотный латунный футляр, выложенный внутри плюшем, и по тому тщанию, с которым сохранялся, представляет много гарантий своей полной неизменности, тем более, что он вовсе не употреблялся для сличений. Это последнее видно из того, что акад. Купфер, изготовляя основные копии фунта, разосланные в различные учреждения Империи, пользовался вспомогательными золочеными фунтами, как видно в сочинении «Travaux de la Commission pour fixer les mesures et les poids de l'Empire de Russie. Rédigé p. A. T. Kupffer» (стр. 399); бывший же после акад. Купфера хранителем мер и весов генерал В. С. Глухов, на основании соображений, развитых им

в печатном его сочинении под заглавием «Доклад высочайше утвержденной Комиссии для преобразования Депо образцовых мер и весов» (1 октября 1875 г., стр. 2—4), пользовался для выверки русских фунтов образцовым английским фунтом, для которого Купфер установил соотношение к русскому фунту.

Только однажды, в 1875 г., применялся платиновый прототип русского фунта — именно для определения его удельного веса, а затем, высушенный под колоколом воздушного насоса до постоянного веса, не применялся и хранился вместе с другими образцами в несгораемой кладовой здания Главной палаты (и бывшего Депо образцовых мер и весов). Эти обстоятельства давали право полагать, что имеющийся платиновый прототип русского фунта не имел возможности изменить свой вес со времени его устройства и заставляли при возобновлении прототипа фунта держаться исключительно того веса, который имеется в существующем прототипе фунта, тем более, что никакой узаконенной копии этого фунта не имелось.

Другой ряд соображений, касающихся до возобновления, относился к материалу и форме прототипов. Вышеназванный прототип фунта, устроенный Купфером, был сделан, как первоначальные метр и килограмм, из платины не сплавленной (потому что прежде не могли плавить платины в больших количествах — способы для этого найдены были лишь в средине XIX ст. Г. С. К. Девиллем), а только сдавленной и прокованной. Такая платина не может быть однородной, а потому изделия из нее обыкновенно имели внешние, хотя и малые, но несомненные пороки (раковины, ноздреватость, неравномерность плотности и тому подобное). При каждом возобновлении естественно было и всегда стремились изменчивые материалы заменять менее способными ко всякого рода переменам, а потому медь и железо первых прототипов заменялись под конец платиною, а в последнее время, по предложению, сделанному Генр. С. К. Девиллем в начале 70-х годов, при обсуждении материала для возобновлявшихся метра и килограмма, стали применять сплавленную иридистую платину, содержащую 90% платины и 10% иридия, потому что этот сплав не только химически чрезвычайно неизменчив (даже более, чем платина, потому что на нее царская водка действует легче, чем на ее сплавы с иридием), но и в механическом смысле пригоднее платины для прототипов, так как тугоплавче, тверже и упружее самой платины, а потому предметы из этого сплава лучше сохраняются в неизменном виде.

Сверх того, вполне уместным было воспользоваться также золотым монетным сплавом, так как, во-первых, сплав этот столь же почти мало изменчив в химическом смысле, как и платина или ее сплавы, а во-вторых, гири из золотого монетного сплава, легко получаясь (а это ведет к тому, что ценность гирь может быть сравнительно невелика), представляют немаловажное удобство при взвешивании золотых монет, так как при равенстве плотностей не требуется вводить поправок на вес вытесненного воздуха, а взвешивание золотых монет при их приемке и производстве составляет один из тех случаев, при которых требуется в практике, особенно при приемке сразу больших масс, наивысшая возможная точность. Но вводить монетный золотой сплав для всех прототипов представлялось рискованным по новости приема, а потому, в виде опыта, предположено было вместе с основными платино-иридиевыми прототипами заготовить лишь один фунт (и его подразделения) из монетного золотого сплава.

В отношении к форме прототипа и основных копий фунта предположено было держаться формы, близкой к той, которую имеет современный прототип фунта, т. е. сделать цилиндр, диаметр которого почти равен высоте, а острые края немного округлены. Для подразделений же фунта, равно как и для подразделений килограмма (необходимых спутников прототипов) предположена, однако, новая форма, а именно, цилиндров или проволок разной длины, что представляет следующие важные удобства: 1) При выделке из одного цилиндра или из одной проволоки нескольких гирь можно предполагать во всех них почти одинаковую плотность, чего не может быть и не бывает в действительности тогда, когда каждая гиря выделывается отдельно, а однообразная плотность гирь гарантирует удобство и верность введения поправок по взвешиванию в воздухе, так как они определяются в зависимости от удельного веса материала гирь. 2) Гири разного (кратного) веса при одном диаметре весьма ясно отличаются между собою по своей длине, а потому не требуют соответственных надписей, которые не только легко дают повод к ошибкам при записи, но и представляют важный недостаток гравированных на поверхности углублений, где задерживается пыль, изменяющая вес и требующая очищения промывкою, что сопряжено с неудобством, риском и напрасною тратою времени. 3) Расположение гирь в соответственных ящиках для хранения, перенесение их и положение на чашках весов, если те и другие снабжены надлежащими приспособлениями (так чтобы

цилиндры лежали горизонтально, опираясь на две точки, отстоящие от концов примерно на $^1/_4$ длины), весьма сильно облегчается. 4) Не маловажно при многократных точных взвешиваниях и то, что внешняя поверхность каждой лежащей цилиндрической гири остается все время видимою, тогда как при обычной форме гирь (когда они в ящике и на чашках весов стоят на своей нижней плоскости) на нижней их поверхности могут оставаться приставшие частицы незамеченными. В таком виде и выполнены вновь заготовленные подразделения фунта и килограмма.

Для подразделений избраны две системы: фунтовая и десятичная. Первая основана на подразделении, по возможности, в 2 раза, например золотники: 48, 24, 12, 6, 3, 2 и 1 золотник, то же и для долей. Сумма гирь золотников при этом равна фунту, без необходимости добавки суммы долей, и сумма долей равна 1 золотнику. А так как ни одна гиря здесь не повторяется, то избегаются одноименные гири, которые встречаются столь часто в обычных подразделениях гирь,[1] затрудняя запись и часто служа поводом к ошибкам. Для удовлетворения тем же требованиям, а именно, чтобы не было одноименных гирь и чтобы сумма гирь данного порядка равнялась (могла быть сравниваема на весах) единице высшего порядка, при десятичном счете весов (например, для подразделения «долей» фунта или для подразделений килограммового веса) избрана система, состоящая из гирь: 4, 3, 2 и 1, потому что при этом нет повторения (а следовательно, и поводов к смешению) одноименных гирь и сумма: $4 + 3 + 2 + 1 = 10$,[2] а это облегчает выверку системы гирь, что составляет важную, сложную и долговременную операцию, которую в учреждениях, подобных Главной палате, приходится производить часто и с большим тщанием, причем всякий вид облегчения имеет свою ценность.

Таким образом, исходя из вышеописанных предположений, по надлежащем разрешении и утверждении, были приготовлены, подогнаны и выверены, со всею доступною и возможною[3] точностью следующие гири: 1) платино-иридиевый русский

[1] Например 50, 20, 10^1 и 10^2 г, или 50, 20^1, 20^2 и 10 г, как встречается у разных мастеров, заготовляющих разновес.

[2] Например, вместо подразделений, в предшествующей выноске приведенных: 40, 30, 20 и 10 г, число гирь то же, но при сравнении со 100 г в системе 50, 20, 10, 10 пришлось бы добавить все граммовые гири. Сверх того, легко показать, что при взвешиваниях грузов разного веса число применяемых здесь гирь будет меньше, чем в обычных системах.

[3] Такая погоня за всею возможною точностью может с первого взгляда показаться преувеличенною и в некоторой степени излишнею.

фунт в виде прямого цилиндра, диаметром и высотою около 29 мм, на плоскости верхнего основания которого нанесены, посредством пантографа, легкие изображения российского герба (двухглавого орла) и 1894 г. Плотность его = 21.5471 при $t°$ гири 0° и воды 4° Ц. 2) Таковой же цилиндр, но с изображением короны и 1894 г. Плотность при 0°/4° = 21.5172. 3) Такой же цилиндр, на верхней плоскости которого нанесены, посредством пантографа, легкие изображения вензеля государя императора Николая II и 1894 г. Плотность при 0°/4° = 21.5198. 4) Платино-иридиевый фунтовый разновес, состоящий из семи гирь: в 48, 24, 12, 6, 3, 2 и 1 золотник в виде прямых цилиндров. 5) Платино-иридиевый граммовый разновес в 400, 300, 200, 100, 40, 30, 20, 10, 4, 3, 2 и 1 г, также в виде прямых цилиндров. 6) Золотой русский фунт из монетного сплава, в форме прямого цилиндра, с диаметром в 30.8 мм и высотою = 32.4 мм. На плоскости верхнего основания цилиндра нанесены, посредством пантографа, легкие изображения вензеля государя императора Николая II и 1894 г. Плотность = 17.0885 при 0°/4°. 7) Золотой фунтовый разновес из того же сплава, состоящий из 11 цилиндрических гирь: в 48, 24, 12, 6, 3, 2 и 1 золотник и в 96, 48, 24 и 12 долей, и 5 в виде четырехугольных пластинок: в 6, 3, 2, 1 и 1 долю.

Помимо этих гирь для Палаты изготовлены были и разные другие гири, бóльшие и меньшие фунта, из разных материалов и сплавов, чтобы, путем соответственных сравнений их, чрез более или менее продолжительные промежутки времени, в разных комбинациях как между собою, так и с основными прототипами и их копиями, убедиться в их пригодности для названных целей. Такие гири были изготовлены из чистого никкеля, бронзы, латуни, чистой меди, стали, горного хрусталя, серебряного монетного сплава, и т. д. Мы лишь упоминаем об них, так как они имели лишь косвенное отношение к самому возобновлению прототипов русского фунта, но могут иметь большое

При этом мы должны обратить внимание на следующее: прототип фунта употребляется лишь для выверки основных копий. С этими основными копиями сличаются рабочие копии для Главной палаты мер и весов; с этими последними копии первого разряда для поверочных палаток торговых мер и весов, с перворазрядными копиями сличаются копии второразрядные и, наконец, с последними уже обиходные торговые меры. При такой цепи сличений, ошибка исходного прототипа может суммироваться и повлечь за собою уже заметную погрешность даже и в торговых мерах, тем более, что и погрешность взвешивания, по мере удаления от прототипа, увеличивается примерно раз в пять при каждом переходе.

значение с течением времени. Золотой русский фунт с подразделениями был изготовлен на Санкт-Петербургском монетном дворе из золотого монетного сплава, причем все гири, для достижения наивысшей плотности и однородности, были подвергаемы большим давлениям, и вообще при их изготовлении были применены все усовершенствования, приобретенные наукою и техникою для подобного рода работ. Что касается платино-иридиевых гирь, то они в грубом (нешлифованном или полированном) виде были изготовлены известною фирмою Johnson — Matthey и C° в Лондоне по тем самым техническим правилам (касающимся состава, способов отливки, вытягивания, отжигания, отсутствия внешних пороков, удельного веса и т. п.), по которым господин Маттей, известный ученый, член Royal Society, производил поставку образцовых килограммов для Международного бюро мер и весов в Париже.

К апрелю 1894 г. в первой грубой отделке прототипы были готовы, после чего следовало: а) придать им обтачиванием и шлифовкою надлежащую форму и размер; б) отполировать их поверхность, чтобы малейшее постороннее тело и всякие слабые знаки на ней были ясно видны; в) нанести знаки, отличающие отдельные экземпляры прототипов, но столь слабые, чтобы в их углублении не могла осаждаться пыль; г) определить их удельный вес и объем при обыкновенных температурах; д) довести вес приближенно до желаемого, не нарушая полировки; е) произвести полное сличение с нормою, чтобы окончательно определить малый перевес; ж) снять этот перевес, т. е. привести к окончательному весу; з) сличить вес с нормою чрез ряд повторенных, точных взвешиваний; и) произвести такое же сличение со всеми иными экземплярами и копиями, в нашем случае — фунта; к) выверить все подразделения основной единицы веса (фунта), чтобы можно было выразить все разности в тех же единицах, и л) произвести сравнение с другими прототипами, в нашем случае — с английским фунтом, килограммом и с граммами.

Каждое из этих действий само по себе очень сложно, требует совершенно особой работы, зависящей от строгих требований. Здесь же не только единичность экземпляров, но и большая их ценность заставляли производить каждую операцию только после ряда проб на особых побочных экземплярах, чтобы основные выходили безошибочно. Отсюда отчасти становится уже понятною продолжительность того времени, которое повсюду идет на возобновление прототипов.

Эти все работы выполнены были отчасти Эртлингом в Лондоне (он их обточил, отшлифовал и отполировал, оставив избыток веса для окончательной подгонки), но главная часть работы была в этом отношении выполнена в самой Главной палате Ф. П. Завадским, вместе с мастером палаты Мельзасом, а именно окончательная отделка и подгонка к должному весу, вперемежку с определением удельного и абсолютного веса, которым предшествовало каждый раз вымывание в слабой азотной кислоте, воде, спирте и эфире, а затем высушивание в пустоте до постоянного веса. В это же время на двух из фунтов, на золотом и на одном из платино-иридиевых, были нанесены надписи, изображающие вензель государя императора Николая II и 1894 г. Для того, чтобы надписи эти не нарушали сплошности поверхности, позволяющей видеть и удалить малейшие следы пыли, надписи эти не выгравированы каким-либо твердым или режущим инструментом, а составлены из ряда мелких кружков, произведенных на гильоширном станке быстро вращающимся стержнем из твердого дерева или стали. Прием этот, оставляя поверхность гладкою наощупь, дает знаки, очень отчетливо видимые и представляющие много преимуществ пред гравированными или выдавленными знаками, затрудняющими полную чистоту поверхности, что при чувствительности весов должно уже иметь свое значение.

Около этого же времени и даже немного ранее было приступлено к устройству и оборудованию весов и комнаты для них, в которой должны были происходить работы по возобновлению прототипа русского фунта, а также к выработке рациональной системы взвешиваний, чтобы могла быть достигнута наибольшая возможная чувствительность и точность, тем более, что в первой половине 1895 г. были уже получены заказанные для этой цели весы Рупрехта до 1 кг. Для весовой комнаты было освобождено от других приборов одно из центральных помещений главного этажа Палаты, там устроено было электрическое освещение, так как дневного света в этом замкнутом со всех сторон помещении было недостаточно. Комната эта окружена со всех сторон массивными стенами и коридорами, топка же производится лишь в помещениях, окружающих коридоры, благодаря чему отличается чрезвычайным постоянством (зимою и летом) температуры, что вместе с прочностью находящихся в ней глубоких и массивных устоев для помещения измерительных приборов очень благоприятствует достижению возможно точных результатов взвешиваний.

Весы, на которых производились сравнения гирь при возобновлении прототипа русского фунта, сделаны по особому заказу Палаты известным венским механиком А. Рупрехтом в 1895 г., с приспособлением, придуманным проф. Арцбергером и позволяющим издали (т. е. от места наблюдателя) производить перемену грузов на чашках. Отсчет колебаний коромысла производился по так называемому оптическому способу, т. е. при посредстве отраженной зеркалом шкалы. Для этого сверху коромысла посредине укреплено на нем горизонтальное плоское зеркало, а над зеркалом, на колонне весов, укреплена неподвижная призма с полным внутренним отражением, пред которою, на расстоянии около $3^1/_2$ м, помещена параллельно длине коромысла шкала, привинченная к штативу зрительной трубы. В зрительной трубе получается отраженное призмою и зеркалом изображение шкалы, а при качании коромысла кажется, будто перемещается в поле зрения шкала, по которой и делают отсчеты. Постоянною линиею, относительно которой производится счет делений шкалы, служит не волосок окуляра зрительной трубы, как то делается очень часто и, между прочим, применялось при сличении килограммов в Международном бюро, а одно из делений той же шкалы (155-е, продолженное во всю ширину ее), вторично отраженной в трубу особым (неподвижным) зеркалом и призмою, прикрепленными снаружи к стенкам ящика весов.

Все отсчеты, а также переноска гирь с плеча на плечо при способе Гаусса и перемена гирь на одном из плеч при способе Борда делаются из другой комнаты, не подходя к весам, при посредстве длинных штанг, на расстоянии около 4 м. Значение 1 деления (1 div.) определяется накладыванием с такого же расстояния от весов особой формы гирьки, около 1 мг весом, во время самого колебания коромысла, не арретируя весов. Также издали, посредством особой трубы, определяется температура воздуха в весах и влажность его, при посредстве психрометра Ассмана, что вместе с отсчетом высоты барометра дает все элементы, нужные для приведения веса гирь к пустоте, тем более, что наблюдения А. Н. Доброхотова показали, что в воздухе Палаты содержится около 0.04% углекислого газа.

Наблюдатель находится отделенным от весов наглухо особой перегородкой, состоящей из деревянной доски, толщиной около 12 мм, обитой с обеих сторон листами жести, и из двух картонных листов, находящихся перед и позади деревянной доски, на некотором от нее расстоянии, и оклеенных внутри станиолем. Пространство между листами картона и жестяною

обивкою заполнено воздухом. По опытам, произведенным в Главной палате, подобная перегородка способна продолжительное время задерживать лучистую теплоту, неизбежно испускаемую телом наблюдателя и производящую свое влияние даже при расстоянии в 4 м, а это, как показывает опыт, может сильно влиять на точность взвешиваний, и оттого-то достигнутая Главною палатою точность взвешиваний превосходит точность, достигнутую при других возобновлениях, например в Англии и Франции. В указанной перегородке сделаны соответствующие отверстия для штанг, зрительных труб и шкалы, затянутые двумя слоями замши, в которые вделаны кольца, плотно охватывающие эти предметы таким образом, что, не мешая необходимым передвижениям означенных предметов, они в то же время не пропускают воздуха в весовую комнату из окружающего коридора, откуда производятся наблюдения, что способствует сохранению в комнате постоянной температуры и неподвижности воздуха в течение более или менее продолжительного времени; при этом окончательное взвешивание производилось каждый раз лишь на другой день по установке гирь на чашках весов.

При отсчетах колебания весов определяются 4 элонгации, т. е. 4 показания шкалы: l_1, l_2, l_3 и l_4. Равновесие L определяется по следующей формуле: $L = \frac{1}{8}(l_1 + 3l_2 + 3l_3 + l_4)$.[1]

Для примера приведем сравнение международного килограмма № 26, императорской Санкт-Петербургской Академии Наук, с килограммом R_1, работы Эртлинга, принадлежащим Главной палате мер и весов; это одно из нескольких тысяч взвешиваний, произведенных при последнем восстановлении прототипа русского фунта: оно было сделано уже по окончании самого восстановления, а именно, для контроля, не изменился ли вес бывших в употреблении при работах килограммов. Накануне взвешивания, около 5 часов вечера 8 ноября 1899 г., гири: платино-иридиевый килограмм № 26, с одной стороны, и килограмм $R_1 +$ некоторая сумма мелких Σ, состоящая из платиновых гирек в 5 и 1 полумиллиграмм и алюминиевой гирьки в 0.3 мг, с другой, были поставлены на особые переносные пластинки из горного хрусталя *a* и *b*,

[1] Особое исследование над изменениями в колебании весов, зависящими от разных обстоятельств, показало, что такая формула дает всю возможную и желательную точность, сообразно со степенью точности самого отсчитывания (см.: Д. Менделеев. О приемах точных или метрологических взвешиваний. Временник, ч. 3, стр. 3; и его же: Опытное исследование колебания весов*).

* См. стр. 215 и 397. [*Прим. ред.*].

находившиеся на чашках весов. Затем переносные пластинки *a* и *b* с находившимися на них гирями были центрированы на чашках, а также был положен на свое место рейтер r_1, весом 1.03066 мг, сделанный из тонкой алюминиевой проволоки и служащий для определения чувствительности весов или цены 1 деления шкалы в миллиграммах. По закрытии дверец весов и по проверке правильности отражений шкалы в зрительной трубе и правильности действия переносного механизма проф. Арцбергера и арретира коромысла весовая комната была закрыта на ключ и вполне налаженные весы были оставлены в покое до следующего дня. На особых бланках за №№ 2035 и 2036 было записано, что 1) $A = \text{№ } 26\frac{\text{Ptlr}}{1\text{ kg}} + a$; $B = \text{R}_1\frac{\text{Ptlr}}{1\text{ kg}} + b + \Sigma$ и 2) что первоначальное положение гирь на чашках весов *BA*, т. е. нагрузка *B* находится на левой чашке весов, а нагрузка *A* — на правой.[1]

На другой день, 9 ноября 1899 г. в 11.82 h (т. е. в одиннадцать и 82 сотых часа дня), не входя в весовую комнату, наблюд[атель] записал на бланке температуру воздуха в весах, высоту барометра; после чего, по освобождении чашек и коромысла весов от арретира, началось наблюдение колебаний коромысла: $l_1 = 242.5$, $l_2 = 69.75$, $l_3 = 238.7$, $l_4 = 73.3$, откуда $L_1 = 155.144$. Затем весы были арретированы и нагрузки переставлены в положение *AB*, где L_2 оказалось равным 163.294. После того еще по разу было определено *L* в положении *BA* ($L_3 = 155.531$) и *AB* ($L_4 = 163.575$). По окончании последнего отсчета на бланке отмечено было время окончания первого сравнения гирь 12.50 h, произведенное наблюдателем Сапожниковым, и вслед затем снова была определена температура воздуха в весах и были отсчитаны барометр, а также психрометр.

Разность между нагрузками *A* и *B* рассчитывается таким образом: берется среднее арифметическое из равновесий L_1 и L_3 и сравнивается с L_2; разность, деленная на 2 (способ Гаусса), = 3.978 div. (т. е. делений шкалы); затем сравнивается среднее арифметическое из L_2 и L_4 с L_3; разность, деленная на 2, = 3.952 div. Среднее из 3.978 и 3.952 = 3.9650 div. Стало быть, $A = B - 3.9650$ div. Все весы Главной палаты устроены таким образом, что при увеличении нагрузки на правой

[1] Положение *AB* обозначает, наоборот, что нагрузка *A* (т. е. килограмм № 26 + *a*) находится на левой чашке, а нагрузка *B* (т. е. $\text{R}_1 + b + \Sigma$) — на правой. Обозначение $A(B + r_1)$ показывает, что на правую чашку весов к нагрузке *B* добавлен рейтер r_1 для определения чувствительности. Тут могут быть следующие возможные обозначения: $B(A + r_1)$, $(r_1 + A)B$ и, наконец, $(r_1 + B)A$.

чашке весов показания шкалы всегда увеличиваются, а потому является понятным, почему в данном случае нагрузка B более A. В 3.22 h подобное же взвешивание было произведено другим наблюдателем, Ф. Завадским, причем была определена также чувствительность: AB ($L_1 = 161.988$), BA ($L_2 = 157.744$), AB ($L_3 = 162.538$), BA ($L_4 = 155.738$), $B(A + r_1)$ ($L_5 = 182.313$), BA ($L_6 = 156.444$). Из первых четырех равновесий вычисляется разность между A и B, а из последних трех определяется чувствительность, для чего среднее арифметическое из L_4 и L_6 вычитается из L_5, а затем вес рейтера в миллиграммах делится на эту разность: получается значение 1 деления шкалы (1 div.) в миллиграммах. По окончании этого второго взвешивания в 4.02 h, по определении всех метеорологических данных, гири были переменены на пластинках a и b, т. е., что находилось на пластинке a было переставлено на b, и наоборот, и 10 ноября были произведены два новых взвешивания уже в этом последнем положении.

Результаты этих двудневных взвешиваний, после введения поправок на вес вытесняемого гирями воздуха, что вычисляется, принимая средние температуры термометра весов, не меняющиеся в продолжение взвешивания более, чем в тысячных долях градуса, и психрометра и среднее показание барометра за весь день наблюдений, — могут быть выражены парою следующих уравнений:

9 ноября: № 26 + a = R_1 + Σ + b — 0.43587 мг,
10 ноября: № 26 + b = R_1 + Σ + a — 0.33251 мг.

Подставляя на место Σ ее величину, т. е. ранее определенный истинный вес входящих в Σ гирек, и складывая эти два уравнения, чтобы исключить a и b, получаем

№ 26 — R_1 = + 0.947 мг.

Взвешивания этих гирь, произведенные еще раз 11 и 12 ноября, дали следующее:

11 ноября: № 26 + b = R_1 + Σ + a — 0.38566 мг,
12 ноября: № 26 + a = R_1 + Σ + b — 0.47575 мг;
№ 26 — R_1 = + 0.945 мг.

Разность между двумя полными взвешиваниями равна всего 0.002 мг.

Самый процесс работ сравнения гирь при возобновлении прототипа русского фунта происходил во времени следующим образом: сначала был сравнен платиновый фунт 1835 г. (А. Купфера) по очереди с тремя платино-иридиевыми фунтами 1894 г. и с золотым фунтом 1894 г.; затем платино-иридиевый фунт 1894 г. со знаком короны был сравнен

с золотым фунтом и двумя другими платино-иридиевыми фунтами 1894 г.; наконец, были сравнены между собою платино-иридиевые фунты 1894 г. со знаками герба и вензеля государя императора Николая II. Эти сравнения фунта продолжались с 27 мая по 18 октября 1896 г. С 12 ноября 1896 г. началось сравнение платино-иридиевых подразделений фунта 1894 г. как между собою, так и с одним из платино-иридиевых фунтов 1894 г., продолжавшееся до 16 января 1897 г., после чего было приступлено 18 января 1897 г. к сравнению как фунта в различных комбинациях с международным килограммом № 12, принадлежащим Главной палате, так и фунта 1835 г. с подразделениями килограмма, которое с некоторыми дополнительными работами было окончено лишь к 16 октября 1897 г. 23 октября 1897 г. началось сравнение подразделений килограмма 1894 г. между собою, продолжавшееся до половины ноября 1898 г. После того были сравнены между собою в различных комбинациях килограммы № 12, № 26 и R_1, в С.-Петербурге, а также произведено инспектором палаты В. Сапожниковым в Париже (в Бретейле), в Международном бюро мер и весов, сравнение платино-иридиевого килограмма Эртлинга R_1 с международным платино-иридиевым же килограммом *C*, принадлежащим Бюро.

Эти разные системы сличений как фунта, так и килограммов, после введения всех необходимых поправок, показали, что вероятная погрешность результатов достигает до ± 0.002 или ± 0.003 мг, а отдельные взвешивания не разнятся между собою более, как на 0.02 мг, а это представляет большой шаг вперед в смысле достигнутой точности взвешивания, так как при установлении килограмма в 1799 г. погрешность отдельного взвешивания при килограмме была равна, по крайней мере, ± 1 мг, а в 30—40-х годах при возобновлении прототипов в Англии и России (при Купфере) вероятная погрешность была не более ± 0.7 мг. Наконец, при сличениях международных килограммов в 1870—1890-х годах вероятная погрешность была около ± 0.01 мг, а отдельные взвешивания отличались на 0.3 мг на килограмм. Должно заметить, что точность при взвешивании подразделений, т. е. при меньшей нагрузке, может быть доводима до большей степени, так, например, для 1—2 г при взвешивании на специальных весах вероятную погрешность можно доводить до десятитысячных долей миллиграмма, но вес, определенный с такою точностью, нельзя считать постоянным, так как гиря теряет в весе в этих пределах прямо от перекладывания с чашки на чашку.

4 июня 1899 г. было высочайше утверждено новое Положение о мерах и весах, которым узаконен был новый платино-иридиевый прототип фунта, его отношение к килограмму, приведенное в начале настоящей статьи, и сверх того дозволено применение международных метрических мер в империи «наравне с основными Российскими мерами, в торговых и иных сделках, контрактах, сметах, подрядах и тому подобное, — по взаимному соглашению договаривающихся сторон, а также в пределах деятельности отдельных казенных ведомств и общественных управлений с разрешения или по распоряжению подлежащих министров и с тем, чтобы распоряжения по сему предмету не обязывали частных лиц, без их согласия, применять метрические меры в сношениях с означенными учреждениями». Сверх сего ст. 14 Нового положения гласит следующее: «две основные копии фунта и аршина, изготовленные из иридистой платины одновременно с прототипами и с возможною тщательностью сличенные с последними, носят: одни — знаки короны 1894 г., а другие — государственного герба 1894 г. Копии с обозначением короны хранятся замурованными в железном ящике в стене здания Правительствующего сената в С.-Петербурге; копии с обозначением государственного герба сохраняются в Главной палате мер и весов (статья 16, пункт 1) и служат для главнейших поверок. Особые основные копии фунта и аршина со знаками герба Московской губернии, сличенные с прототипами, хранятся в железном ящике под стеклом за печатями Главной палаты мер и весов в Московской Оружейной палате. Основные копии с обозначением короны и государственного герба чрез каждые десять лет (от 1900 г.), в мае месяце сличаются в Главной палате мер и весов с прототипами. Чрез каждые двадцать пять лет производится в сей Палате сличение образцовых фунта и аршина (прототипов) с точными, вновь сличенными, копиями международных килограмма и метра и с хранящимися в Москве копиями прототипов». А потому, во исполнение сего, замурование копии прототипа русского фунта с изображением короны было произведено в Сенате 19 февраля 1901 г., платиновый же прототип 1835 г. и платино-иридиевый 1894 г. H хранятся II

в особом несгораемом железном шкафу в кладовой Главной палаты, в которой хранится также и копия с изображением герба. Что же касается до Московской Оружейной палаты, то для нее были приготовлены особые основные

копии фунта и килограмма из чистого никеля, с изображением герба Московской губернии, и поставлены туда в особом ящике под стеклом на хранение 10 августа 1901 г., после ряда специальных сличений и надлежащих предварительных работ, состоявших в определении объема, подгонке и т. п. Эти все, как и прочие сличения производились инспекторами Палаты при участии и под непосредственным наблюдением управляющего Палатою. Российский фунт, по ст. 2 Положения о мерах и весах 1899 г., содержит 96 золотников или 32 лота, золотник — 96 долей. 40 фунтов составляют пуд. С установлением возобновленного фунта, а равно и других мер, например длины, емкости и проч., для достижения полного единообразия обращающихся во всей стране мер и весов приняты следующие меры: 1) учреждены местные поверочные учреждения в главнейших городах империи и в центрах производства мер и весов под названием «Поверочных палаток торговых мер и весов», состоящих из поверителей, сдавших установленный экзамен и обучившихся приемам поверки в Главной палате. К последней четверти 1902 г. открыты 20 Палаток и одно отделение. 2) В местные Палатки посылаются, для оборудования их, двойные комплекты мер, в том числе и весовые, выверенные в Главной палате по особым образцам, с определенною точностью, например для фунта с погрешностью ± 0.5 доли для образцов 1-го разряда и ± 2 доли для образцов 2-го разряда. 3) Эти образцы снова периодически выверяются или в Главной палате, или на местах, в Поверочных палатках, инспекторами Палаты, командируемыми туда с особым набором (инспекторским) тщательно изготовленных мер и весов. 4) В местных Поверочных палатках выверяются торговые меры с узаконенною степенью точности, например доходящей для фунта ± 10 долей для обыкновенных торговых гирь и ± 3 доли для гирь, применяемых в торговле для взвешиваний, требующих большей точности (в аптеках, банках, ювелирных магазинах, ломбардах и т. п.). 5) Применение мер, не удовлетворяющих допускам, карается законом. 6) Все торговые меры должны быть выверяемы и клеймены чрез каждые три года. 7) Чины Главной палаты мер и весов обязаны, по распоряжению управляющего Палатою, производить внезапные ревизии законности мер и весов во всех казенных, общественных и частных учреждениях, где таковые применяются.

Д. Менделеев.

Временник Главной палаты мер и весов, ч. 6, 1903, стр. 25—26.

О ЗАМУРОВАНИИ ОСНОВНЫХ КОПИЙ ФУНТА И АРШИНА В СТЕНЕ ЗДАНИЯ ПРАВИТЕЛЬСТВУЮЩЕГО СЕНАТА 19 ФЕВРАЛЯ 1901 г.

При проектировании возобновления русских прототипов веса и длины, соединенного с установлением узаконенного их соотношения с метрическими мерами, по высочайшему повелению было предначертано, что сверх прототипов фунта и аршина будут устроены — вместе с оными и, по возможности, им подобные, — две основные копии прототипов фунта и аршина: одни копии, назначенные для главнейших сличений при установлении единообразия мер и весов в империи, а другие копии прототипов, назначенные для хранения в замурованном виде, чтобы можно было при помощи этих последних копий, изъятых от употребления, судить о неизменности принятых в империи исходных единиц для взвешивания всякого рода.

Самые прототипы фунта и аршина, а равно и обе их копии, изготовлены были в 1894 г. под наблюдением лично моим и г-на инспектора Главной палаты Ф. И. Блумбаха в Лондоне фирмою Джонсон — Маттей и К°, из той самой иридистой платины, из которой та же фирма приготовила международные метрические прототипы. Разнообразные сличения, как взаимные, так и с исходными единицами, равно как с метрическими и с английскими прототипами, произведены были непосредственно и косвенно (чрез посредство копий) в 1894—1900 гг. в Лондоне, Париже и С.-Петербурге.

По высочайше утвержденному в 1899 г. «Положению о мерах и весах», ст. 14, основные копии фунта и аршина с обозначением «короны» определено хранить «замурованными», в железном ящике, в стене здания Правительствующего сената в С.-Петербурге.

Во исполнение сего замурование произведено в Сенате 19 февраля 1901 г. после того, когда получено было закон-

ное утверждение: А — того порядка и тех формальностей, при соблюдении которых надлежало произвести замурование, и Б и В — формы свидетельств, сопровождающих замурованные основные копии фунта и аршина.

Вслед за сим приведены сверх того: Г и Д — копии с актов, составленных как пред замурованием в Главной палате мер и весов, так и при замуровании в Правительствующем сенате.

Управляющий Главною палатою мер и весов,
заслуженный профессор
Д. Менделеев.

Временник Главной палаты мер и весов, ч. 6, 1903, стр. 84—87.

ПИСЬМО ПРОФЕССОРА СИМОНА НЬЮКОМБА (SIMON NEWCOMB) О ДЛИТЕЛЬНОСТИ ТРОПИЧЕСКОГО ГОДА*

Так как в ст. 5 «Положения о мерах и весах», высочайше утвержденного 4 июня 1899 г., говорится о том, что «за основную единицу времени принимаются сутки в двадцать четыре часа, по среднему солнечному времени», и по ст. 16, пункт 7, на Главную палату мер и весов возложено «производство испытаний и выверки, по соответствию с основными измерениями веса, длины и времени (ст. 1, 3 и 5), на основании особых правил, издаваемых Министерством финансов, специальных измерительных приборов, служащих для определения: температуры, силы света, расхода электрической энергии, потребления светильного газа ...», то Главная палата считает своею обязанностью собрать полные сведения, касающиеся до длительности времени, а потому в примечании 4 к опубликованным 29 ноября 1899 г. таблицам, содержащим «узаконенное отношение русских мер к международным или метрическим», дано указание о сведениях, касающихся длительности тропического года, а именно приведено число 365.24219 средних солнечных суток, как современная длина тропического года. Но известно, что эта длина претерпевает с веками некоторые, хотя незначительные, однако несомненные изменения, величину которых отдельные авторы дают с некоторою разностью. Для того, чтобы получить сведения об этом предмете от лица, наиболее ныне компетентного в вопросах сего рода, я решил обратиться к знаменитому, маститому американскому астроному Симону Ньюкомбу, прося его сообщить результаты его многолетних исследований, относящихся к длине тропического года и к его изменению в течение веков. В ответ

---

* Предисловие Д. И. Менделеева, предшествующее тексту названного письма. [*Прим. ред.*].

на эту просьбу мною получено письмо, которое помещено далее в переводе, сделанном инспектором Палаты Ф. И. Блумбахом и в подлиннике.* А так как окончательный свод данных и расчетов, написанный собственноручно г-ном Ньюкомбом, представляет особо важное научное значение и так как знаменитый американский астроном, несмотря на болезненное состояние, в котором находится в настоящее время, принял на себя труд лично написать свои окончательные выводы, то Главная палата считала желательным воспроизвести подлинник в фототипии,* которая приложена к этой статье. Точное определение длины тропического года и его вековых изменений имеет немалое значение, между прочим, при сравнении разных стилей.

Д. Менделеев.

Вашингтон, 31 мая 1900 г.

Дорогой профессор Менделеев!

Я должен просить извинения за долгую задержку в выполнении желания, содержащегося в Вашем письме от 23 марта. Мое отсутствие из дому, болезнь, хирургическая операция и многочисленные дела, требующие все время моего усиленного внимания, — все это вместе не дозволяло мне обратить соответствующее внимание на важный вопрос, который Вы мне предложили.

Мои новые таблицы солнца не содержат ничего, специально относящегося к этому вопросу. Я оставил действительную службу уже три года тому назад и не имею никакого отношения к раздаче публикаций. Я, впрочем, постараюсь, в случае возможности, послать вам копию из (Nautical Almanac Office) учреждения, издающего «Морской ежегодник».

Я имею удовольствие препроводить Вам при сем расчеты разных длин солнечного года, которые, как Вы упоминаете, выведены из упомянутых таблиц. Последние основываются на всех имеющихся наблюдениях, от 1750 г. по 1892 г. включительно.

Следствие, которое я считаю вытекающим из этих результатов, таково, что лучше основать календарь на средней длине солнечного года, т. е. на той длине, которую он имел бы, если бы орбита земли была кругом, чем на действительной длине от одной до другой точки равноденствия, для любой эпохи. Вы увидите из моих результатов, что действительная длина года, взятая между точками равноденствия, не только меняется от столетия к столетию, но что эти отклонения для двух равноденствий[1] в длине имеют противоположный знак и близко равны по своей величине. Но я не знаю ни одной причины, по которой мы должны отдать предпочтение одному равноденствию перед другим для цели, о которой идет речь. Кроме того, вековое изменение длины года, хотя оно реально, все-таки весьма незначительно. Поэтому, мне

---

[1] Осеннего и весеннего равноденствия. *Прим. переводчика.*

* Подлинник и фототипия здесь не воспроизводятся. [*Прим. ред.*].

кажется, что длина среднего тропического года, выведенная мною для эпохи 1900, т. е.

365.242199,

может быть считаема для всех практических целей длиною солнечного года. Вопрос о том, стоит ли изменять григорианский календарь вследствие очень малого отклонения длины среднего года этого календаря от величины, мною данной, подлежит решению Вашего правительства, и поэтому считаю ненужным его рассматривать.

Позвольте мне прибавить, что я считаю для себя весьма высокою честью, что Вы предложили мне дать отзыв по этому вопросу, и буду весьма рад дать всякие дальнейшие объяснения по этому предмету, которые Вы считали бы полезными.

Остаюсь

Вам глубоко преданный

Симон Ньюкомб.

Главные ступени в расчете действительной длины года между равноденствиями для эпох

[в год] от Рождества Христова 0, 1900 и 4000, сделанные для профессора Менделеева Симоном Ньюкомбом.

Эпоха	0	1900	4000
Долгота перигея солнца	248°56	281°22	317°32
Истинная аномалия солнца во время весеннего равноденствия	111·44	78.78	42.68
Уравнение центра	+ 1.88	+ 1.88	+ 1.23
Средняя аномалия (в градусах) .	109.56	76.90	41.45
Привед. по таблицам солнца, стр. 22	1.59	1.12	0.60
	5.37	5·37	5.37
Аргумент *M* таблиц	116.52	83.39	47.42
Избыток аномалистического над тропическим годом	d .017267	d .017443	d .017635
Изменение уравнения центра за 1 день (табл. XVII)	—41″6	+24″7	+89″4
Поправка на вековые изменения эксцентриситета	— 2.0	0.0	—4.7
	—43.6	+24.7	+84.7
Изменение уравнения центра в течение (троп.— аном.) года .	— 0″753	—0″429	—1″493
Вековое изменение уравнения центра, 1 год	—0.160	—0.170	—0.118

Эпоха	0	1900	4000
Годовое изменение в истинной долготе (троп. год)	+0.593	—0.599	—1.611
Суточное движение солнца по долготе	3505″	3573″	3628″
Избыток длины года между равноденствиями над средним тропическим годом	d —.000169	d +.000168	d +.000443
Истинная аномалия солнца во время равноденствия	Расчет для осеннего равноденствия 291°44	258°78	222°68
Уравнение центра	—1.87	—1.88	—1.25
Средняя аномалия	293.31	260.66	223.93
	4.28	3.81	3.27
	5.37	5.37	5.37
Аргумент M	302.96	269.84	232.57
	+45′3	—21′6	—85′5
	+ 2.1	0.0	+4.7
	47.4	—21·6	—80.8
Изменение уравнения центра в течение (троп. — аном.) года .	—″818	+0″377	+1″425
Вековое изменение 1 года . . .	+.161	+ .169	+ .116
Избыток истинной долготы в 1 троп. году	—.657	+.546	+1.541
Суточное движение	3594″	3528″	3463″
Избыток истинного года между равноденствиями над средним тропическим годом	d +.000183	d —.000155	d —.000445

Примечание. Принцип для расчета следующий: в конце любого среднего года (считаемого между средними равноденствиями) средняя долгота солнца возвращается к той же самой величине, т. е. 0° или 180°, но с истинною долготою не случается то же самое, потому уравнение центра изменяется. Поэтому размер этого изменения в течение солнечного года есть избыток движения солнца над 360° в течение среднего солнечного года. Разделяя этот избыток на суточное движение, мы получаем недохват истинного до среднего года.

Результаты для разных длин солнечного года могут теперь быть даны в следующем виде:

Эпоха, в год от Рождества Христова	0	1900	4000
Средняя длина солнечного года .	d 365.242316	d 365.242199	d 365.242070
Промежуток между истинными возвращениями солнца к равноденствиям:			
Весенним	365.242147	365.242367	365.242513
Осенним	365.242499	365.242044	365.241625

Симон Ньюкомб

Почетный член императорской Академии Наук
в С.-Петербурге.

Вашингтон, 1900 г., июня 1.

Временник Главной палаты мер и весов, ч. 6, 1903, стр. 91.

ОБ УСТАНОВКЕ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ В МОСКОВСКОЙ ОРУЖЕЙНОЙ ПАЛАТЕ ОСОБЫХ ОСНОВНЫХ КОПИЙ ФУНТА, КИЛОГРАММА И АРШИНА С МЕТРОМ НА ОДНОЙ МЕРЕ, 10 АВГУСТА 1901 г.

На основании ст. 14 «Положения о мерах и весах», высочайше утвержденного 4 июня 1899 г., «Особые основные копии фунта и аршина со знаками герба Московской губернии, сличенные с прототипами, хранятся в железном ящике под стеклом за печатями Главной палаты мер и весов в Московской Оружейной палате», а потому ст. X высочайше утвержденного 4 июня 1899 г. мнения Государственного совета поручено министру финансов «озаботиться приготовлением особых копий с образцовых фунта и аршина (прототипов) и передать таковые на хранение в Московскую Оружейную палату».

Во исполнение сего Главною палатою мер и весов, под наблюдением управляющего оною, и были изготовлены вышеозначенные особые основные копии фунта и аршина, причем была еще присоединена копия килограмма, а на аршине нанесены деления метра, ввиду ст. 11 «Положения о мерах и весах».

Копии сии изготовлены из возможного чистого никеля. Разнообразные сличения сих копий как с прототипами, так и с другими мерами произведены были в Главной палате мер и весов в течение 1900—1901 гг.

Самая установка на хранение в Московской Оружейной палате произведена 10 августа 1901 г., после того как воспоследовало законное утверждение А, Б и В — формы свидетельств, сопровождающих особые основные копии фунта, килограмма и аршина с метром на одной мере.

Вслед за сим приведены сверх того: Г и Д — копии с актов, составленных как перед отъездом в Москву в Главной палате мер и весов, так и при самой установке на хранение в Московской Оружейной палате.

Управляющий Главною палатою мер и весов,
заслуженный профессор

Д. Менделеев.

Временник Главной палаты мер и весов, ч. 7, 1905, стр. 54—57.

К ИЗУЧЕНИЮ НАПРЯЖЕНИЯ ТЯЖЕСТИ ПРИ ПОМОЩИ НЕСВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ ТЕЛ

ПРЕДИСЛОВИЕ *

Если не все, то большинство отчетливых понятий, касающихся явлений и сил, действующих в природе, ведут свое начало от сведений, относящихся к падению тел и притяжению, определяющему падение, т. е. от тяежсти, изучение которой составляет славу Галилея и Ньютона. Даже такая обособившаяся дисциплина знаний, какова химия, стала наукою точною только благодаря изучению количественных отношений, касающихся веса реагирующих веществ. Поэтому несомненно, что успехи точных знаний определяются между прочим полнотою изучения явлений, подлежащих опыту и определяемых по возможности начисто тяжестью, как проявлением тяготения, действующего повсюду, где нам приходится экспериментировать, а вследствие этого взвешивания, колебания маятников и падение тел представляют явления, достойные наибольшей разработки и по настоящее время, когда уже зарождается требование понимания самой причины тяготения. В былое время, даже еще в первой половине XIX в., этими предметами занимались усиленно, но за последнее десятилетие подробное изучение явлений механического, физического, химического и физиологического свойств до того сосредоточило на себе всеобщее внимание, что коренные вопросы, относящиеся к тяжести, колебаниям маятников и взвешиваниям, остаются почти в том состоянии, в каком находились уже лет 50 тому назад, когда методы наблюдений не подверглись еще многим усовершенствованиям последнего времени. А так как явления,

* Предисловие Д. И. Менделеева к статье А. А. Иванова. [*Прим. ред.*].

определяемые тяжестью, никогда не совершаются в чистом виде, но сопровождаются побочными влияниями, например трением, сопротивлением среды и т. п., то для возможного исключения этих влияний при изучении тяжести необходимы разные подсобные исследования.

По этой причине, а также вследствие того, что на Главную палату мер и весов возложена обязанность способствовать распространению точных взвешиваний и разработки вопросов, с ними связанных, я считаю необходимым, по мере возможности, во вверенном мне учреждении содействовать изучению, так сказать, теоретической стороны предмета, так как общеизвестно, что практическая сторона предметов находится в коренной зависимости от теоретических сведений, к ним относящихся.

Первым предметом изучения явилось уже отчасти публикованное исследование о колебании весов и возможной точности взвешиваний. Затем подвержено изучению изменение напряжения тяжести с географической переменой места, произведенное инспектором Главной палаты мер и весов Ф. И. Блумбахом; сверх того произведены были исследования вопросов, относящихся до взвешивания проволоки в вертикальном и свернутом положениях, что произведено инспекторами Главной палаты Ф. П. Завадским и В. А. Мюллером, а затем предприняты опыты над определением тяжести при помощи падения тел, что и составляет предмет предлагаемой статьи. За сим предначертаны и другие еще определения, относящиеся к действию тяжести, к чему будет приступлено по мере освобождения сил Палаты от многих других ее обязанностей.

Общеизвестно, что напряжение тяжести или ускорение g доныне определяется с значительною степенью точности только путем изучения времен колебания физического маятника определенной длины и формы и что сложный вопрос об этом предмете в теоретическом и практическом отношениях разработан целым рядом блестящих исследований, дающих возможность приводить сведения об относительном изменении напряжения тяжести к весьма значительной степени точности (при помощи перевозки одного маятника в разные места), но не допускающих всей желаемой и возможной точности в абсолютных величинах, так как в мерах длины ныне уже легко достижима точность до миллионных долей длины, в длине же секундного маятника при данных условиях необходимо допускать погрешности, доходящие до десятитысячных долей. Хотя теория

физического маятника разработана с значительным совершенством, но в ней поныне необходимо допускать, что трение, неизбежное между призмой и опорой, не влияет на времена колебаний. Ныне нельзя думать, что это в некоторых отношениях произвольное допущение сколько-нибудь значительно влияет на величину длины секундного маятника и на определение чрез нее величины g, когда при качаниях маятника применяются хорошо закаленные острые призмы и агатовые пластинки, но все же некоторую погрешность, с таким допущением сопряженную, нельзя отвергать, и мера погрешности, зависящая от этого допущения, ныне остается неизвестной. При исследовании колебания весов прямой опыт показал,[1] что при замене опорной площадки, т. е. при изменении одного трения, не только переменяется чувствительность весов и декремент колебаний, но и значительно изменяются времена качаний, что должно иметь место и в маятниках, хотя, по всей вероятности, лишь в незначительных размерах, т. е. трение ножа о подставку в физическом маятнике все же влияет на определение длины секундного маятника и напряжения тяжести g.

На основании этого мне кажутся особенно желательными новые определения напряжения тяжести при помощи падения тел, как такого явления, которое послужило к зарождению самого понятия о напряжении тяжести.

Исследования, сюда относящиеся, до сих пор немногочисленны, и между ними должно явно отличить наблюдения при свободном падении тела в воздухе (например, у Ньютона,

---

[1] Наблюдения над весами Неметца, когда навеской служили медные фунты, дали следующие результаты изменений чувствительности весов k, времени t одного размаха и декремента D_{15} при отклонении $r=15$ div. в зависимости от перемены подушки под средним ножом.

	Подушка из						
	закаленной стали	агата	мягкой вольфрамовой стали	латуни	красной меди	бычачьего рога	твердого каучука
1 div.$=k$ мг	0.043	0.047	0.050	0.063	0.071	0.093	0.193
Время размаха t сек.	33.3	31.5	29.8	27.8	25.4	18.2	15.0
Декремент D_{15} при $r=15$ div.	1.029	1.032	1.031	1.034	1.065	1.156	1.252

Бенценберга, 1803, и Рейха, 1832) от наблюдений с прибором Атвуда, когда падение определяется разностью веса двух связанных масс (несвободное падение). Наблюдения первого рода производились поныне исключительно для изучения сопротивления среды или для определения суточного движения земли и представляют громадные трудности в определении небольших величин времени и в достижении равномерной температуры на длинном пути падения. Наблюдения второго рода более доступны для всякого рода точных измерений, но требуют многочисленных поправок на инерцию и трение блока, гибкость нити, связывающей грузы, на сопротивление воздуха и т. п. Уже Атвуд стремился принять во внимание поправки этого рода. Впоследствии неоднократно делались попытки усовершенствовать самый способ наблюдений, а сравнительно в недавнее время, проф. Де-Метц в Киеве,[1] хотя против него в некоторой степени и оппонировал Малаголи,[2] достиг того, что родилась надежда этим путем определить напряжение тяжести с довольно значительной точностью, и потому этот второй прием был избран для опытов, производимых в Главной палате мер и весов, где необходимо знать абсолютное напряжение тяжести со всей возможной точностью. Первые предварительные наблюдения этого рода произведены были Н. И. Адамовичем на лестнице старого здания Главной палаты мер и весов, где высота падения достигала 9,3 м. Хотя на всем пути падения было устроено ограждение для устранения влияния движений наружного воздуха и хотя с применением хронографов точность в определении времен падения была значительною, тем не менее в результате получены числа, изменяющиеся от разных обстоятельств, в особенности же от изменения в распределении температуры воздуха на разных высотах, а потому наблюдения, сюда относящиеся, далее не преследовались и не описываются, так как надежного результата ожидать было от них невозможно. В 1901 г. при устройстве во дворе Главной палаты нового здания, снабженного башнею высотою в 33 м, вырыт был в почве, под башней, сухой колодец глубиной около 15 м, (с диаметром железной трубы в 1.10 м) и над ним чрез все

[1] Г. Г. Де-Метц. Определение ускорения силы тяжести помощью машины Атвуда. Журн. Русск. Физ.-хим. общ., т. XXVII, ч. физич., 1895, стр. 37.

[2] Malagoli. La Macchina di Atvood e la sua applicatione alla determinatione di g. Memorie della Societa degli spettroscopisti italiani, v. XXVIII, 1900, стр. 174, 199.

этажи башни проведена железная труба с диаметром в 0.81 м (из котельного железа), окруженная второю трубою (тоже из котельного железа), диаметром около 1.08 м, с тем, чтобы в промежуточном пространстве могла циркулировать при помощи особого насоса вода, позволяющая удерживать во всей трубе возможное постоянство температуры. Вся высота такой двойной трубы достигает 20.2 м. Это приспособление дает возможность делать некоторые наблюдения при общей высоте около 35 м, а на верхних 20 м достигать постоянства температуры. При помощи этого приспособления предположен ряд исследований, и в середине 1903 г. указанная двойная труба приспособлена для наблюдений с несвободным падением тел ради определения напряжения тяжести при помощи такого падения. Наблюдения этого рода принял на себя инспектор Главной палаты А. А. Иванов, которого отчет вслед за сим и помещается. Первые определения показали, что здесь может быть достигнуто желаемое согласие отдельных времен падения на разных высотах и, хотя окончательный результат нельзя еще считать достигнутым, все же полагаю весьма полезным подробное описание примененных приемов и первых предварительных результатов, так как они помимо всего прочего сами по себе представляют научный интерес и могут быть применимы в наблюдениях иного рода. Считаю долгом присовокупить, что разнообразные обязанности, возложенные на Главную палату мер и весов, и ограниченность средств, которыми она располагает, значительно стесняют успешность в ходе наблюдений, но смею надеяться, что настойчивость А. А. Иванова будет успешно бороться с этими стесняющими обстоятельствами.

Отчет «Возобновление прототипов, или основных образцов русских мер веса и длины в 1893—1898 гг.» опубликован не был. В 1898 г. был издан отдельный оттиск из подготовлявшегося отчета под названием «Опытное исследование колебания весов», содержание которого составлено Д. И. Менделеевым и воспроизводится на стр. 397—650. В 1931 г. Главная палата мер и весов выпустила издание: Д. И. Менделеев. Опытное исследование колебания весов и возобновление прототипа, или основной образцовой русской меры массы в 1893—1898 гг. В предисловии проф. М. А. Шателен (в то время президент Главной палаты) сообщает, что часть отчета была напечатана при жизни Д. И. Менделеева и хранилась с тех пор в листах, пока не была выпущена из печати с небольшими дополнениями в виде названного издания, включавшего упомянутый оттиск. Из него в данном томе воспроизводится лишь текст, принадлежащий Д. И. Менделееву. Содержащиеся в нем же числовые наблюдения (сотрудников Д. И. Менделеева; часть IV отчета) и обработка их здесь не воспроизводятся (см. стр. 759). [*Прим. ред.*].

ВОЗОБНОВЛЕНИЕ ПРОТОТИПОВ

ИЛИ

ОСНОВНЫХ ОБРАЗЦОВ РУССКИХ МЕР

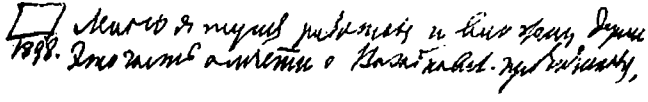
ВЕСА И ДЛИНЫ

в 1893—1898 гг.

Отчет, представленный господину министру финансов
Сергею Юльевичу Витте

управляющим Главной палатой мер и весов
Д. Менделеевым

С.-ПЕТЕРБУРГ
1898 г.



Много я тут работал и вложил души. 1898. Это часть отчета о Возобновл[ении] прототипов.

300 Опытное исследование колебания весов.
1898. 1037/5

300 Опытное исследование колебания весов.
1 1898

1037/5

ОПЫТНОЕ ИЗСЛѢДОВАНІЕ

КОЛЕБАНІЯ ВѢСОВЪ

Д. Менделѣева.

Особый оттискъ изъ Отчета (часть 2-я глава 1-я) представленнаго Его Высокопревосходительству Господину Министру Финансовъ Сергѣю Юльевичу Витте Управляющимъ Главною Палатою мѣръ и вѣсовъ: «О возобновленіи прототиповъ въ 1894 –1898 гг.»

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.
1898.

[ЧАСТЬ ВТОРАЯ]

Глава первая

ОПЫТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЯ ВЕСОВ

§ 1. При обычных взвешиваниях о весе судят по количеству наложенных гирь и стремятся достичь равновесия. При наиболее же точных взвешиваниях, особенно при метрологических, гири определяют только главную часть веса, а надлежащее суждение о разности масс производится на основании наблюденных по шкале элонгаций или крайних точек размахов нагруженного коромысла весов, определяя из них показание шкалы, отвечающее равновесию, не выжидая оного, т. е. наблюдая колебания коромысла. Если бы взвешивания ограничивались гирями, то о точности — в сотых и тысячных, даже в десятых долях миллиграмма — нельзя было бы строго говорить, так как гири такого веса невозможно прочно готовить и применять без риска больших погрешностей в весе, им отвечающем.[1] В точных взвешиваниях роль мельчайших гирь заменяется отсчетами (по шкале) элонгаций колеблющегося коромысла. Поэтому весьма важно возможно полное знакомство со всеми частностями, относящимися к колебанию нагруженного коромысла весов. Этим путем возможно достигать предела точности взвешиваний. По этой причине я воспользовался случаем возобновления русских прототипов для увеличения весьма небольшого числа опытных данных, относящихся до исследования колебаний весов,

---

[1] Так называемый «рейтер», или крючок определенного веса, перемещаемый по длине коромысла для суждения по его положению о малых подразделениях веса, и тому подобные приспособления, относимые к коромыслу, не только не исчерпывают всей чувствительности лучших современных весов, но и представляют общеизвестные теоретические недостатки, так что применимы лишь при таких взвешиваниях, при которых наиболее важна быстрота, а достижение крайних пределов точности стоит на втором плане.

и в этой главе совокупляю как ряд особых наблюдений, произведенных в этом направлении в Главной палате мер и весов за последние годы, так и разбор колебаний, наблюдавшихся при взвешиваниях, журналы которых помещены в IV части* предлагаемого отчета. Многие тысячи точных взвешиваний, производившихся при возобновлении русских прототипов, представляют в отношении к колебаниям (ибо каждый раз определялось по 4 элонгации) большой запас данных, публикуемых во всей необходимой полноте для всеобщего пользования; я мог рассмотреть только часть этого запаса со стороны убыли (декремента) размахов, так как главная цель всей работы позволила уделить рассмотрению колебаний лишь малую долю времени. Некоторые результаты этого рассмотрения могли получиться только после окончания главной части взвешиваний, относящихся до возобновления прототипов, так как потребовали долгих и утомительных вычислений, а потому некоторые выводы выступили только при окончательном расчете взвешиваний. Не смею думать, что я извлек из собранных данных все важнейшие выводы, а потому прилагаю особое старание к тому, чтобы в этой главе вместились все наблюдения, произведенные доныне в Главной палате специально для изучения колебания весов, предполагая и впредь собирать планомерные, точно обставленные данные, так как, по моему убеждению, усовершенствование точных взвешиваний возможно не только чрез улучшение устройства самих весов и способов взвешивания (о чем говорится в следующей главе), но и при помощи подробного изучения колебания весов в разных условиях.

Изучение колебаний весов, сверх прямого интереса для взвешиваний (особенно для их расчета), мне кажется, может служить и на пользу при изучении колебаний маятников, так как весы представляют в сущности тоже своего рода маятник с теми особенностями, что в них центр тяжести лежит очень близко под точкою опоры, а центр качания очень далеко под центром тяжести, что с обеих сторон на коромысле повешены подвески (с чашками), также подобные маятникам, что времена размахов велики и что для сопротивления воздуха представляется в весах много точек и площадей. А так как в этих условиях оказываются отступления как от изохронизма размахов, так и от постоянства декре-

---

* См.: Д. И. Менделеев. Опытное исследование колебания весов. Л., 1931. [*Прим. ред.*].

мента, то я полагаю, что изучение колебания весов может иметь некоторое значение для усовершенствования самого учения о колебании физических маятников вообще.[1] Так как в весах могут легче и точнее, чем в маятниках, наблюдаться некоторые стороны явлений колебания, то я надеюсь, что предлагаемое исследование послужит некоторым дополнением к опытному учению о колебаниях вообще, тем более, что часть наблюдений произведена в разреженном пространстве, чтобы получить понятие о влиянии сопротивления среды.

§ 2. Главный предмет дальнейшего изучения составляет *декремент* качаний, D, или относительная убыль размахов. Простейшим определением декремента служит отношение двух друг за другом следующих размахов. Пусть даны 4 элонгации (показания шкалы весов)

$$l_1 \; l_2 \; l_3 \text{ и } l_4,$$

как это дается при всех наших взвешиваниях (ч. IV). Из 4 элонгаций получается три размаха, которые суть

$$R_1 = l_1 - l_2, \quad R_2 = l_3 - l_2 \quad \text{и} \quad R_3 = l_3 - l_4,$$

если нуль шкалы сбоку и l_1 численно более l_2, как это наблюдается в записях Главной палаты мер и весов. Отношение каждых двух друг за другом следующих размахов и есть декремент, а потому здесь получается два:

$$D_1 = \frac{R_1}{R_2} = \frac{l_1 - l_2}{l_3 - l_2} \quad \text{и} \quad D_2 = \frac{R_2}{R_3} = \frac{l_3 - l_2}{l_3 - l_4}.$$

Таким образом, каждое наше взвешивание дает 2 декремента. Среднее из них может считаться относящимся к данному взвешиванию, и такое среднее в части дальнейших исследований служит для определения отношения между декрементом и разными условиями взвешивания, т. е. для отыскания зависимости D от: плотности воздуха, качества весов, веса всей нагрузки, чувствительности и т. п.

Но, определяя декремент указанным способом, мы вводим погрешность двух родов: 1) погрешность $\pm \Delta$, завися-

[1] Считаю не излишним упомянуть о том, что, когда позволит мне время, я предполагаю восполнить настоящее исследование наблюдениями над колебаниями коротких тяжелых маятников разных форм, чтобы связать найденное для весов с тем, что известно для обычных маятников. Этим заявлением, однако, я вовсе не хочу стеснять свободу чьих-либо исследований, если они направятся в ту же сторону, как не связываю и себя обещанием, а желаю только яснее указать на связь предлагаемых исследований о колебании весов с учением о физическом маятнике.

щую от погрешности δ отсчета элонгаций, и 2) погрешность, происходящую от изменения положения равновесия.

Погрешность первого рода Δ, зависящая от погрешности δ, свойственной определениям элонгаций, ничем прямо не устранима. Остается вывести зависимость Δ от δ. Очевидно, что наибольшая перемена в D получится только тогда, когда при возрастании числителя знаменатель будет уменьшаться, или обратно, что достигается только при соответственном изменении l_1 и l_3, если l_2 остается без перемены, а потому *наибольшее значение* Δ получится из равенства:

$$D+\Delta=\frac{l_1-l_2+\delta}{l_3-l_2-\delta}.$$

Разделяя числитель и знаменатель на (l_3-l_2), получаем:

$$D+\Delta=\frac{D+\dfrac{\delta}{l_3-l_2}}{1-\dfrac{\delta}{l_3-l_2}}.$$

Дробь $\dfrac{\delta}{l_3-l_2}$ при сколько-либо значительных размахах есть величина малая, сравнительно с единицей, а потому, пренебрегая членами, содержащими квадраты этой малой величины, получаем

$$D+\Delta=D+\frac{\delta}{l_3-l_2}(1+D), \quad \text{откуда} \quad \Delta=\delta\frac{1+D}{l_3-l_2},$$

или, что все одно и то же,

$$\Delta=\delta\frac{D(1+D)}{R_1}.^{1} \qquad (I)$$

---

[1] Для вывода той же формулы путем дифференцирования необходимо не только сделать замечание о том, что погрешность двух друг за другом следующих размахов не может превосходить для каждого из них погрешности отсчета δ, так как одна из элонгаций входит в оба размаха, но и ввести другие гипотезы, усложняющие дело, а потому я предпочел изложить вывод только алгебраическим путем по той причине, что в нем виднее допущения, ведущие к получаемому результату. Но я считаю не излишним подтвердить этот вывод численным примером. Пусть дано, как в 1-й строке стр. 9, ч. IV,

$$l_1=169.35, \quad l_2=152.55 \quad \text{и} \quad l_3=168.8 \text{ div.}$$

Отсюда $R_1=16.80$ и $R_2=16.25$, а потому $D=1.03385$. Допустим, что погрешность, возможная в l, равна ± 0.05 div. По нашей формуле от этого в D можно ждать погрешности не более как $\pm\dfrac{0.05D(1+D)}{16.8}$, или не более

Следовательно, как и можно было ждать, погрешность Δ в декременте возрастает пропорционально погрешности в отсчете элонгаций δ и величине самого декремента, но обратно пропорционально с величиною размаха ($R_1 = l_1 - l_2$). Эту последнюю можно увеличивать до известного предела и тем увеличить точность D, погрешность же отсчета δ можно уменьшать при помощи усовершенствования отсчетов шкалы трубою, но и здесь есть практический предел, который в наших обычных определениях при размере размахов ($l_1 - l_2$) в 30—70 делений шкалы доходил до $^1/_{15}$ деления. Однако в большинстве данных средний размах $l_1 - l_2$ нельзя принять более 30 div., а наибольшую погрешность определений элонгаций δ должно считать могущею достигать до 0.1 div. Полагая же $\delta = 0.1$ и $l_1 - l_2 = 30$, а D, как в большинстве данных, около 1.02, получаем, что в единичном определении D может быть погрешность, доходящая до ± 0.00687. При меньшем размахе, например в 5 div., как это бывает нередко в наблюдениях (см. ч. IV, стр. 9 и сл.) и при неизбежных случайных погрешностях отсчета, величина эта может еще возрастать, а потому *единичные определения декремента нельзя считать настолько точными, чтобы, опираясь прямо на них, можно было извлечь сколько-либо надежные следствия об изменении D* при перемене условий взвешивания. Но многочисленность данных, собранных при взвешиваниях в Главной палате, позволяет брать средние из большого числа m отдельных определений и чрез то значительно увеличивать точность вывода сведений о изменении декремента в разных условиях. Известно, что вероятная погрешность Δ_m среднего результата, выведенного из m отдельных данных, представляющих отступления Δ, выражается чрез

$$\Delta_m = \pm 0.675 \sqrt{\frac{\Sigma \Delta^2}{m(m-1)}}.$$

Представим себе, как это и встречается часто в наших данных (ч. IV), что в большом числе m взвешиваний весы,

как ± 0.00626, т. е. при возможных изменениях l и R величина D будет оставаться в пределе между величиною, близкою к 1.04011, и величиною 1.02759. Действительно, наибольшее значение D получается, если к l_1 или R_1 прибавим 0.05, а от l_3 или от R_2 отнимем 0.05, так как тогда $D = \frac{16.85}{16.2} = 1.04012$. При всех иных комбинациях (например, увеличивая или уменьшая одно l_2 на 0.05, или единовременно изменяя на ту же величину l_3) получится D меньшее 1.04012, что и требовалось показать.

нагрузка, средняя величина размаха и другие общие условия взвешивания однообразно повторяются и дело идет только об отыскании малых разностей веса. Если при каждом взвешивании наблюдено 4 элонгации и получено среднее D, то все m таких D можно считать с одинаковою погрешностью

$$\Delta = \pm\delta\frac{D(1+D)}{R_1}.$$

Сумма квадратов их будет, очевидно, равна $m\Delta^2$; следовательно, тогда

$$\Delta_m = \pm 0.675\frac{\Delta}{\sqrt{m-1}}. \qquad (II)$$

Отношение $\Delta:\Delta_m$ равно 10, когда m около 46, и то же отношение = 20, когда m достигает до 183. Для многих расчетов, далее приводимых, бралось среднее из 128—150 взвешиваний, тогда погрешность среднего декремента Δ_m была в 17—18 раз менее погрешности Δ отдельного определения. Чтобы судить о наибольшей мере этой последней погрешности, должно заметить, что среднюю погрешность δ нельзя считать превосходящею ± 0.07 div. (а именно близкою к ± 0.05, но иногда могущею достигать до ± 0.10 div.), величина же декремента изменяется обыкновенно в пределах от 1.01 до 1.05, а потому для $\pm\Delta$ погрешности декремента, *возможной в отдельных взвешиваниях*, получаются при разных размахах R_1 следующие величины:

	$D=1.01$	$D=1.03$	$D=1.05$
$R_1=10$ div.	$\Delta=\pm 0.01421$	± 0.01464	± 0.01507
20 »	0.00711	0.00732	0.00753
30 »	0.00474	0.00488	0.00502
40 »	0.00355	0.00366	0.00377
50 »	0.00284	0.00293	0.00301

Этим подтверждается вышесказанное, т. е. невозможность сколько-либо точного и уверенного суждения об изменении декремента, если брать его по единичному взвешиванию. Если же берется среднее, например, из 128 взвешиваний и если средний размах около 30 div., как это увидим в большинстве далее рассматриваемых данных, то погрешность Δ_m среднего декремента не превосходит ± 0.00028, т. е. составляет около $^1/_{3680}$ доли (0.027%).

Определение вероятной погрешности в D при его нахождении из m взвешиваний по величине разности от среднего результата — в такой мере оправдывает приведенный вывод, что его должно считать за выражение высшего предела

возможной средней погрешности, так как δ обыкновенно в среднем не более ± 0.07 div., а именно близка к ± 0.05 div., т. е. к погрешности, заведомо существующей в записи элонгаций. Таким образом, погрешность среднего декремента, выводимого из 100—200 взвешиваний, при среднем размахе около 30 div., обыкновенно не превосходит ± 0.0002, следовательно десятитысячные доли можно принимать во внимание, а стотысячные не следует, и если мы их иногда рассчитываем, то лишь для меньшей ошибочности в выводе среднего.

На первый взгляд может показаться, что, увеличивая число m взвешиваний, принимаемых для вывода среднего, можно безгранично увеличивать точность декремента. Однако для этого является два существенных препятствия. Во-первых, если в данных условиях увеличивать число наблюдаемых размахов, то наступают несомненные изменения «состояния весов», т. е. положение равновесия L изменяется, как видно из данных, далее приводимых, и доказывается подробнее в следующей главе, а при изменении L должен кажущимся образом переменяться и декремент, выводимый из наблюденных элонгаций, как очевидно само по себе. Во-вторых, если даже и считать, что вышеуказанные изменения в среднем выводе при большом m исчезают, так как отступления будут с разными знаками, то все же в прочих условиях взвешивания редко достигается полное постоянство, например в чувствительности весов, в плотности воздуха, в величине нагрузки и т. п., а от них декремент, несомненно, должен изменяться, а его изучение должно между прочим состоять в раскрытии изменений D при перемене условий взвешивания. Таким образом и при большом числе m данных, служащих для вывода, нельзя надеяться, за известным пределом точности, на дальнейшее уменьшение погрешностей вывода. По совокупности сделанных мною расчетов из множества данных я пришел к заключению, что из наилучших данных, собранных по способу, доныне применяемому в Главной палате, нельзя извлечь сведений о D с точностью, превосходящею ± 0.0002; обыкновенно же неточность не менее ± 0.0008, а потому расчет D доводился нередко только до десятитысячных долей и ограничен стотысячными.

Что касается до зависимости декремента, выводимого из отношения размахов, от перемены положения равновесия L, то это несомненно, но и устранимо. Представим, для упрощения суждения, что во время определения элонгаций на правую сторону коромысла действуют лучи тепла или

какие-либо иные влияния (например изменяющие плотность воздуха) в большей мере, чем на левую. Положение равновесия L тогда будет от этого изменяться, а именно, будет двигаться (по показанию шкалы) влево, а потому и в элонгациях произойдут перемены, зависящие не от сопротивлений (трений), определяющих D, но от этой перемены в L, влияющей различно при движении справа налево и при обратном ему размахе. Конечно, при производстве точных взвешиваний необходимо принимать все меры к уменьшению таких односторонних влияний, изменяющих L, и во второй главе описываются способы, примененные для того в Главной палате, но опыт показывает, что при всех стараниях, сюда направленных, в L совершаются со временем или с числом размахов неустранимые, хотя и небольшие изменения. Чтобы дать пример одних из крупных изменений в положении равновесия L, берем вывод из наблюдений n° 881 (подлинные числа приведены в этой же главе, далее), когда наблюдение размахов длилось около часу:

При отсчете $n=$	3	15	22	39	47	73
Положение равновесия $L=$	198.02	198.33	198.17	198.98	199.48	201.76 div.

При способах, применяемых нами, обыкновенно, однако, в течение такого же времени замечаются гораздо меньшие перемены равновесия (если не было в промежутке арретировки весов), но и они влияют на D.

§ 3. Чтобы по возможности освободиться от влияний этого рода, во многих случаях, в дальнейшем изложении, декремент рассчитывается не из размахов $R=l_n-l_{n+1}$, а из полуразмахов или *отклонений* (амплитуд), которые впредь означаются чрез r и равняются l_n-L, разности между наблюденною элонгациею l_n и соответственным положением равновесия L (или обратно, считая всегда R и r положительными). Легко показать, принимая L и D постоянными (как это можно принять в пределе погрешности наблюдений для трех друг за другом следующих элонгаций), что

$$D=\frac{R_1}{R_2}=\frac{r_1}{r_2}=\frac{r_2}{r_3}.$$

Действительно, тогда (как показано будет в следующей главе)

$$l_1=L+\frac{r_0}{D},\quad l_2=L-\frac{r_0}{D^2},\quad l_3=L+\frac{r_0}{D^3},$$

а отсюда и следует, с одной стороны, что

$$D=\frac{l_1-l_2}{l_3-l_2}=\frac{R_1}{R_2},$$

а с другой, принимая во внимание, что $r_1=l_1-L=\frac{r_0}{D}$, $r_2=L-l_2=\frac{r_0}{D^2}$ и $r_3=l_3-L=\frac{r_0}{D^3}$, очевидно, что

$$D=\frac{r_1}{r_2}=\frac{r_2}{r_3}.$$

Поэтому декремент есть отношение двух друг за другом следующих отклонений или размахов:

$$D=\frac{l_n-L}{L-l_{n+1}}=\frac{r_1}{r_2} \text{ как и } D=\frac{l_1-l_2}{l_3-l_2}=\frac{R_1}{R_2}.$$

Но так как в действительности ни L, ни D не постоянны и в отсчете элонгаций есть свои погрешности, то тождественности двух расчетов не будет, но разность мала. В численном примере лучше видно, что определение D из отклонений r ведет к результату, мало отличающемуся от того, какой получается из размахов R.

Первая строка стр. 9, ч. IV дает:

$$l_1=169.35,\quad l_2=152.55,\quad l_3=168.8,\quad l_4=152.9$$

$$\text{и}\quad L=160.788\,\text{div}.$$

Отсюда

$$\text{размахи: } R_1=16.80,\quad R_2=16.25,\quad R_3=15.90;$$

отклонения: $r_1=8.562$, $r_2=8.238$, $r_3=8.012$, $r_4=7.888$.

Из размахов получаем для декремента значения 1.03385 и 1.02201, в среднем

$$D=1.0279.$$

Из отклонений же получаем: 1.03933, 1.02821 и 1.01572 и общее из них среднее

$$D=1.0274.$$

Разность обоих чисел (0.0005) гораздо менее погрешности, определяемой ($\delta=0.05$; $R_1=16.8$; $D=1.028$, а потому, по (I), $\Delta=\pm 0.0068$) для отдельного взвешивания, а потому совершенно несущественна сама по себе и отчасти зависит

от переменности равновесия L. Поэтому последнее число ($D = 1.0274$) во всех отношениях заслуживает не меньшего (даже едва ли не большего, ввиду явного непостоянства декремента) доверия, чем первое (1.0279), а потому в дальнейшем изложении мы рассчитываем D или по размахам R, или по отклонениям r, смотря по обстоятельствам и удобству расчета, хотя последний способ теоретически предпочтительнее и дает более данных для суждения о изменении D.[1]

§ 4. Кроме двух указанных основных способов расчета декремента, в дальнейшем изложении применены и разные другие прямые и косвенные способы, часть которых я здесь же опишу, насколько считаю это полезным для предварительного выяснения некоторых обстоятельств, встречающихся при изучении колебания весов.

Зная эмпирический закон изменения элонгаций, размахов или отклонений, легко вывести величину декремента D и ее изменение, и обратно. Отношения здесь напоминают те, которые существуют между функциями и их производными. Объясним это над примерами для отклонений и для самих элонгаций, так как размахи равны или сумме двух друг за другом следующих отклонений, или разности двух друг за другом следующих элонгаций.

Возьмем из наблюдений n° 917 (подлинные наблюдения приводятся далее), когда было наблюдено последовательно 50 элонгаций, 7 из средних отклонений, разочтенные по равновесиям, как объяснено выше:

$n = 20$	21	22	23	24	25	26	
$r_n = 21.44$	20.67	19.89	19.13	18.47	17.81	17.21	div.

[1] Необходимо обратить внимание на то обстоятельство, что при расчете D из размахов полученное число относится не к какому-либо определенному размаху, а к некоторому промежуточному времени (именно к $1/2$), и число вычисленных D отличается от числа наблюденных элонгаций на 2, например, из 4 элонгаций вычисляется два D, и среднее из них относится, строго говоря, к средней всех отсчетов, т. е. ко времени $2^1/_2$, если первый отсчет, как обыкновенно, отметим временем $n = 1$, а последний $n = 4$. Если же расчет D ведем, зная равновесие L, по отклонениям r, то каждое D относится к среднему времени наблюдения элонгаций и число получаемых D равно числу наблюдений без одного. Эта разность двух способов определения D особенно важна при изучении изменения декремента в течение колебаний. Как в вышеприведенном примере, обыкновенно даже только при 4 отсчетах, путь этот (расчет по отклонениям) указывает с ясностью, что декремент не остается постоянным, а постепенно уменьшается при увеличении n или при дальнейших элонгациях.

Эмпирический закон этих чисел, по способу наименьших квадратов, находится легко при том условии, чтобы погрешность r была в среднем не более ± 0.05 div. и чтобы затем легко было высчитывать декременты. Этому отвечает выражение:

$$\log r_n = 1.282215 - 0.015982\,(n-23) + 0.0001536\,(n-23)^2. \quad (A)$$

По нему для вышеозначенных n получаются следующие вычисленные отклонения:

$r_n =$ 21.46 20.64 19.88 19.15 18.47 17.82 17.20.

Соответственные разности этих чисел от наблюденных

$\Delta =$ −0.02 +0.03 +0.01 −0.02 0 −0.01 +0.01

так малы, что эмпирическое выражение (A) здесь, очевидно, совершенно приложимо. А так как декремент равен $D = \frac{r_n}{r_{n+1}}$, то и очевидно [так как $\log D = \log r_n - \log r_{n+1}$. а

$$\log r_{n+1} = 1.282215 - 0.015982\,(n-23+1) + 0.0001536\,(n-23+1)^2],$$

что

$$\log D = 0.015828 - 0.000307\,(n-23).$$

Отюда для вышеозначенных n получаются декременты

1.03932, 1.03859, 1.03785, 1.03712, 1.03639, 1.03565, 1.03492.[1]

Такой способ определения декремента дает его значение, конечно, с большею степенью точности, чем непосредственно из данных опыта, так как в этих последних необходимо допустить вероятную погрешность не менее ± 0.05, а здесь она в среднем не более ± 0.012, как видно из вышеприведенных значений для Δ. Там, где возможно и удобно прилагать подобный прием для определения декремента, его значения приобретают наибольшую достоверность. Вот в но-

[1] При указанном способе расчета изменяющегося декремента выведенное число покажет отношение между r_n и r_{n+1} и есть, так сказать, конечная разность. Взявши же прямо производную $\frac{d \log r}{dn}$ (но с противным знаком — вследствие того, что с приращением n отклонения r убывают, следовательно производная отрицательна, декремент же положительная величина), мы получаем истинное значение его при переменной n, чем далее часто и пользуемся.

добных-то случаях очень часто (но не всегда) оказывается, как здесь, что *декремент непостоянен и падает* с возрастанием n, т. е. с приближением к состоянию покоя, как это показано будет далее с разных сторон.

Хотя расчет равновесий L по элонгациям, применяемый в Главной палате, не подлежит сомнению со стороны правильности принципов, но все же, если в отдельных элонгациях есть погрешности δ, а в определении равновесий также есть свои погрешности, то в отклонениях, находимых из равновесий и элонгаций, ошибки могут скопляться, и чрез это разочтенные из них декременты могут содержать бо́льшую погрешность, чем возможная по прямым данным наблюдений. По этой причине желательно было найти способ расчета отклонений прямо по записанным элонгациям. Способ, для этого пригодный, будет, думаю, уяснен и короче всего изложен в примерах, а потому прямо обращаюсь к одному из таких примеров, где видно, что никакая особая гипотеза не применена здесь для перехода от записей наблюдателей к выводу о величинах r, D и L. Но такой путь долог для определения декремента, мало надежен при малом числе данных и совершенно не приложим к обычным взвешиваниям, где наблюдается только 4 элонгации, а потому мы остановимся на нем только для выяснения понятий о равновесии и отклонениях. Для его осуществления требуется наблюдение ряда элонгаций, как, например, во взвешиваниях, производившихся (на весах Неметца) в начале 1898 г.; после обычных работ, ежедневно под конец дня наблюдалось 11 элонгаций для определения декремента в условиях опыта. Берем из таких взвешиваний (лист n° 912) 6 первых из встретившихся элонгаций:

$n=$	1	2	3	4	5	6
$l_n=$	253.3	196.8	251.15	198.9	249.3	201.05.

Для 3 нечетных ($n=1$, 3, 5) получается

$$l_n = 253.3 - 1.15(n-1) + 0.03750(n-1)^2.$$

Для 3 же четных ($n=2$, 4, 6):

$$l_n = 195.769 + 1.025(n-1) + 0.00625(n-1)^2.$$

Вне пределов $n=1$ и $n=6$ эти формулы, очевидно, не могут быть применяемы, потому что содержат все

погрешности наблюдений,[1] но в указанных пределах они должны давать следствия, точно согласованные с наблюдениями, так как выведены из них без всяких гипотез о вероятных погрешностях.[2] Поэтому:

1) Полусумма обоих равенств выразит с точностью равновесие L в пределе (или во времени) от $n=1$ до $n=6$:

$$L_n = 224.5345 - 0.0625\,(n-1) + 0.021875\,(n-1)^2,$$

откуда при вышеназванных n:

$$L_n = 224.53,\ 224.49,\ 224.50,\ 224.54,\ 224.63,\ 224.77.$$

По принятому в Главной палате способу $[L = \frac{1}{8}(l_1 + 3l_2 + + 3l_3 + l_4)]$ из 4 средних отсчетов (2—5) получаем $L=224.53$, и это данное должно отнести к среднему $n=3.5$, когда по формуле $L_n = 224.52$ div. Разность меньше возможной погрешности.

2) Полуразность вышеприведенных значений l_n должна дать отклонения r_n:

$$r_n = 28.765 - 1.0875\,(n-1) + 0.0156\,(n-1)^2.$$

3) Для получения декремента должно узнать отношение r_n к r_{n+1}, а из приведенного равенства видно, что если

$$r_n = 29.8681 - 1.1187\,n + 0.0156\,n^2,$$

то

$$r_{n+1} = 28.7650 - 1.0875\,n + 0.0156\,n^2.$$

Чрез деление получим декремент

$$D_n^{n+1} = \frac{r_n}{r_{n+1}} = 1.0384 + 0.00036\,n - 0.00001\,n^2,$$

т. е. в пределе от $n=1$ до $n=6$ декремент здесь изменяется от 1.039 до 1.040, в чем, по роду возможных погрешностей, нельзя иметь уверенности, так что здесь можно принять декремент постоянным и близким к 1.040, как видно и по размахам (56.5, 54.35, 52.25, 50.4 и 48.25), которые в среднем выводе дают 1.0403, показывая изменение D от 1.037 до 1.044.

---

[1] Для $n=7$ первое равенство дает $l_7=247.75$, а наблюденное $l_7=247.45$.

[2] Однако нельзя не заметить, что, выражая 3 данных параболою 2-го порядка, мы делаем некоторую гипотезу, так как можно предположить, например, что $\log l_n = A + Bn + Cn^2$ или что-либо подобное. Разность вывода будет, однако, ничтожна сравнительно с погрешностью опыта, так как значения l близки между собою — при обычных R

Описанный способ изучения колебаний приложим и поучителен лишь для случая, когда берется не менее 8 и не более 12 элонгаций.[1] Для демонстрации возьмем 10 элонгаций из того же наблюдения под n° 917, из которого мы выше взяли уже часть определений:

$n=$	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
$l_n=$	228.2	200.15	227.2	201.05	226.3	201.75	225.4	202.6	224.7	203.4.

Для 5 нечетных n, по способу наименьших квадратов, получаем выражение

$$l_{2m+1}=254.904-1.196\,n+0.0108\,n^2,$$

а для 5 четных:

$$l_{2m}=186.141+0.4673\,n-0.0009\,n^2.$$

Эти выражения дают для вышеуказанных n следующие значения:

$l_n=$ 228.21 200.17 227.20 200.99 226.27 201.80 225.44 202.60 224.69 203.39,

а потому

$\Delta=$ −0.01 −0.02 0 +0.06 +0.03 −0.05 −0.04 0 +0.01 +0.01.

Разность опыта и расчета так мала, что оба выражения можно считать совершенною действительностью, сглаженною расчетом, но, конечно, лишь в пределах от $n=31$ до $n=40$. Из этих выражений, взяв полусумму, получаем положение равновесия

$$L_{31}^{40}=220.523-0.3644\,n+0.0050\,n^2,$$

а взяв полуразность, получаем отклонения

$$r_{31}^{40}=34.382-0.83165\,n+0.00585\,n^2,$$

например $r_{40}=10.48$. Уверенность в расчете иными способами отклонений r сильно возрастает от применения указан-

[1] Когда наблюдается или берется (как в прошлом примере) мало элонгаций (четных или нечетных), — уравнение не сглаживает случайные погрешности отсчетов, а когда элонгаций (четных или нечетных) много, — эмпирическое выражение их перемены очень сложно, и расчет затруднителен. К недостаткам этого способа относится и трудность расчета по нему декремента, а к достоинствам — большая (полная) наглядность всех выводов.

ного приема. А имея отклонения r, вывод из них декремента лучше всего производить способами, указанными ранее или впоследствии.

§ 5. Что же касается до вывода декрементов из обычных точных взвешиваний, тысячи которых накопились в Главной палате (см. ч. IV, стр. 9 и сл.), то прямой прием (находить по l сперва R_1, R_2 и R_3 — вычитанием, а потом, чрез деление, получать D_1 и D_2 и из них среднее) столь сложен и утомителен для расчетов и их проверки, когда рассчитываются многие сотни взвешиваний, что я счел необходимым[1] прибегнуть к «сокращенному» способу расчета среднего декремента из массы данных элонгаций l. Способ этот состоит в нахождении декрементов из суммы элонгаций многих взвешиваний без производства расчетов для каждого взвешивания отдельно.

Если бы декремент был величиною действительно постоянною, то указанный прием был бы совершенно точен, как видно из следующего примера для двух взвешиваний. Пусть даны в первом взвешивании элонгации

$$l_1,\ l_2,\ l_3,\ l_4,$$

а во втором

$$l_1',\ l_2',\ l_3',\ l_4'.$$

Декременты обоих взвешиваний будут:

$$\frac{l_1-l_2}{l_3-l_2},\quad \frac{l_3-l_2}{l_3-l_4},\quad \frac{l_1'-l_2'}{l_3'-l_2'},\quad \frac{l_3'-l_2'}{l_3'-l_4'}. \qquad (A)$$

По предположению, теперь разбираемому, все эти частные равны постоянному D, а потому, вместо того чтобы рассчитывать отдельно каждый декремент и брать среднее, прямо находим

$$\frac{(l_1+l_1')-(l_2+l_2')+(l_3+l_3')-(l_2+l_2')}{(l_3+l_3')-(l_2+l_2')+(l_3+l_3')-(l_4+l_4')}=D,$$

потому что в указанных условиях это точно, так как если $\frac{a}{b}=\frac{c}{d}=D$, то и $\frac{a+c}{b+d}=D$. Таким образом, дело сводится к нахождению сумм всех l, и

---

[1] Когда началось печатание IV части этого издания. Ранее этого времени расчеты, даже сокращенные, были очень мало удобны, особенно вследствие необходимости их проверки и копирования подлинников.

$$D = \frac{(\Sigma l_1 - \Sigma l_2) + (\Sigma l_3 - \Sigma l_2)}{(\Sigma l_3 - \Sigma l_2) + (\Sigma l_3 - \Sigma l_4)} \cdot ^{1} \qquad (B)$$

Когда отдельные декременты не тождественны, как по причине погрешностей в элонгациях, так и по причине того, что первые размахи дают другой декремент, чем последующие, тогда декремент, находимый по «сокращенному» способу (В), будет не тождествен с находимым как среднее из всех отдельных определений (А). Но разность, во-первых, мала, а во-вторых, ближе к истине скорее надо считать способ (В), чем (А). Это по той причине, что при очень малых размахах отдельные D получат значения, очень сильно отличающиеся от истины, так как для них Δ будет велика (стр. 400), и эти ошибочные определения могут сильно влиять на общее среднее, когда применяется способ (А),[2] при «сокращенном» же расчете (В) берутся только суммы многих элонгаций и в них пропадает вся относительная неточность (в смысле определения D) таких данных.[3] По этой причине главная масса данных, помещенных в IV части, рассчитана, по отношению к декременту, «сокращенным» способом (В). Для примера здесь приводится весь расчет данных, помещенных на стр. 9, 10 и 11, ч. IV (n° n° 378—394), так как в этом случае расчет сделан по обоим способам и видно значение «сокращенного» способа, по которому рассчитывались данные взвешиваний для определения влияний разных условий взвешивания на величину декремента. Расположение прилагаемой таблицы, после сличения с данными ч. IV, стр. 9, настолько очевидно, что не требует дальнейших объяснений, но для ясности при декрементах, определенных по первому способу (А), поставлен в заголовке знак (А), а в результатах среднее означено чрез D_{Δ}, тогда как при декременте, определенном по «сокращенному» способу (В), никакого знака нет, т. е. он означен D.

---

[1] Само собою очевидно, что вместо разности сумм элонгаций можно брать (как в примере, далее приводимом) сумму разностей самих элонгаций, т. е. сумму размахов, потому что $(a + b) - (c + d) = (a - c) + (b - d)$.

[2] По этой причине я первоначально, пока применял лишь способ (А), выкидывал все взвешивания, в которых размах менее 15 div. Тогда среднее D по способу (А) оказывалось почти тождественным с D, находимым по «сокращенному» способу (В).

[3] Возможно привести строгое и полное доказательство того, что способ (А) дает общее среднее D с большею погрешностью, чем «сокращенный» способ (В), когда размахи разнообразны, а погрешности отсчета δ одинаковы, но я довольствуюсь здесь указанным соображением, потому что считаю его убедительным.

	$R_1 = l_1 - l_2$	$R_2 = l_3 - l_2$	$R_3 = l_3 - l_4$	D_1 (А) $= \frac{R_1}{R_2}$	D_2 (А) $= \frac{R_2}{R_3}$
	16.8	16.25	15.9	1.03385	1.02201
	45.65	44.80	43.80	1.01897	1.02283
	30.65	30.0	29.45	1.02167	1.01868
	10.15	9.9	9.7	1.02525	1.02062
(п° 378)	11.6	11.35	11.15	1.02203	1.01794
	5.0	4.55	4.55	1.09890	1.00000
	60.3	58.8	57.4	1.02551	1.02439
	38.0	36.85	36.1	1.03121	1.02078
	29.1	28.3	27.8	1.02827	1.01799
	70.2	68.75	67.2	1.02109	1.02307
	48.95	47.55	46.65	1.02944	1.01929
	34.7	33.95	33.25	1.02209	1.02105
(п° 379)	44.1	43.1	42.35	1.02320	1.01771
	37.9	36.95	36.25	1.02571	1.01931
	72.3	71.0	69.5	1.01831	1.02158
	22.5	21.9	21.5	1.02740	1.01860
	58.75	57.5	56.45	1.02174	1.01860
	69.0	67.8	66.3	1.01770	1.02262
	16.45	15.95	15.7	1.03135	1.01592
	4.7	4.4	4.2	1.06818	1.04762
(п° 380)	19.6	19.25	18.95	1.01818	1.01583
	50.90	49.45	48.5	1.02932	1.01959
	58.1	57.05	55.7	1.01840	1.02424
	25.9	25.0	24.65	1.03600	1.01420
	48.3	47.15	46.15	1.02440	1.02167
	23.25	22.9	22.3	1.01528	1.02691
	44.75	43.85	43.0	1.02052	1.01977
	25.45	24.95	24.45	1.02004	1.02045
(п° 381)	31.2	30.6	29.9	1.01961	1.02341
	35.8	35.0	33.95	1.02285	1.03093
	8.0	8.0	7.95	1.00000	1.00629
	57.35	56.25	54.9	1.01956	1.02459
	49.15	47.6	46.7	1.03256	1.01927
	32.7	31.9	31.25	1.02508	1.02080
	30.2	29.7	28.95	1.01684	1.02591
	41.60	40.75	39.95	1.02086	1.02003
	25.80	25.3	24.75	1.01976	1.02222
(п° 382)	33.1	32.4	31.6	1.02160	1.02532
	40.05	39.0	38.05	1.02692	1.02497
	25.05	24.55	24.0	1.02037	1.02292
	45.2	44.2	43.45	1.02262	1.01726

[Продолжение]

	$R_1 = l_1 - l_2$	$R_2 = l_3 - l_2$	$R_3 = l_3 - l_4$	$D_1(A) = \frac{R_1}{R_2}$	$D_2(A) = \frac{R_2}{R_3}$
	30.15	29.25	28.9	1.03077	1.01211
	50.0	49.1	48.0	1.01833	1.02294
	26.45	25.4	24.95	1.04134	1.01804
	17.2	16.95	16.6	1.01475	1.02108
(n° 383)	25.3	24.65	24.2	1.02637	1.01860
	21.0	20.4	20.0	1.02941	1.02000
	61.75	60.6	59.15	1.01898	1.02451
	26.7	25.95	25.45	1.02890	1.01965
	10.8	10.5	10.3	1.02857	1.01942
	65.25	63.95	62.4	1.02032	1.02484
	32.35	31.4	30.9	1.03025	1.01618
	16.55	16.15	15.9	1.02477	1.01572
(n° 384)	9.6	9.3	9.2	1.03225	1.01087
	7.4	7.2	7.05	1.02778	1.02128
	62.8	61.6	60.25	1.01948	1.02241
	21.6	20.75	20.45	1.04096	1.01467
	0.8	0.8	0.8	1.00000	1.00000
	60.2	59.0	57.55	1.02034	1.02520
	35.4	34.4	33.8	1.02907	1.01775
	31.65	31.1	30.5	1.01768	1.01967
(n° 385)	21.8	21.35	20.75	1.02108	1.02892
	25.35	24.7	24.2	1.02627	1.02066
	36.1	35.45	34.6	1.01834	1.02457
	39.5	38.15	37.4	1.03539	1.02005
	22.1	21.6	21.1	1.02315	1.02370
	39.9	39.05	38.15	1.02177	1.02359
	41.8	40.5	39.7	1.03210	1.02015
	5.85	5.7	5.6	1.02632	1.01786
(n° 386)	7.25	7.05	6.85	1.02837	1.02920
	19.4	18.95	18.55	1.02375	1.02156
	42.1	41.1	40.1	1.02433	1.02494
	37.4	36.1	35.4	1.03601	1.01977
$\sum_{(n° 378)}^{(n° 386)} (73) = 2429.75$	2372.65	2323.05	$D_1 = 1.02575$	$D_2 = 1.02051$	
	$D = 1.02275$		$D_A = 1.02313$		

	$l_1 - l_2$	$l_3 - l_2$	$l_3 - l_4$	$\frac{l_1 - l_2}{l_3 - l_2}$	$\frac{l_3 - l_2}{l_3 - l_4}$
	12.5	12.1	11.95	1.03306	1.01255
	66.05	64.85	63.25	1.01850	1.02530
	24.8	24.1	23.70	1.02905	1.01688
	6.5	6.3	6.25	1.03175	1.00800
(n° 387)	41.15	40.15	39.40	1.02491	1.01903
	9.9	9.65	9.55	1.02591	1.01047
	65.40	64.1	62.7	1.02028	1.02233
	31.45	30.25	29.6	1.03967	1.02196
	4.0	3.75	3.7	1.06667	1.01351
	55.9	54.9	53.65	1.01821	1.02330
	38.6	37.4	36.75	1.03209	1.01769
	39.65	38.75	37.90	1.02323	1.02243
(n° 388)	10.4	10.20	10.0	1.01961	1.02000
	10.9	10.60	10.5	1.02830	1.00952
	50.3	49.15	47.8	1.02340	1.02824
	46.50	45.00	44.05	1.03333	1.02156
	0.5	0.45	0.45	1.11111	1.00000
	58.5	57.4	56.1	1.01916	1.02317
	34.2	33.2	32.4	1.03012	1.02469
	11.15	10.85	10.55	1.02765	1.02844
(n° 389)	8.95	8.75	8.55	1.02286	1.02339
	55.05	53.55	52.5	1.02801	1.02000
	18.35	18.00	17.55	1.01944	1.02564
	47.5	46.5	45.6	1.02151	1.01974
	31.05	30.25	29.65	1.02645	1.02024
	53.85	52.75	51.45	1.02085	1.02526
	23.05	22.25	21.9	1.03596	1.01598
	17.35	17.0	16.65	1.02059	1.02102
(n° 390)	49.75	48.4	47.45	1.02789	1.02002
	30.95	30.15	29.65	1.02653	1.01686
	46.6	45.75	44.45	1.01858	1.02925
	32.05	30.95	30.40	1.03554	1.01809
	8.20	8.05	7.95	1.01863	1.01258
	64.35	63.30	61.90	1.01659	1.02262
	18.70	18.05	17.75	1.03601	1.01690
	45.50	44.15	43.35	1.03058	1.01845
(n° 391)	63.95	62.50	61.20	1.02320	1.02124
	16.65	16.35	16.00	1.01834	1.02187
	52.10	51.20	50.10	1.01758	1.02196
	28.05	27.15	26.80	1.03315	1.01306

[*Продолжение*]

	$l_1 - l_2$	$l_3 - l_2$	$l_3 - l_4$	$\frac{l_1 - l_2}{l_3 - l_2}$	$\frac{l_3 - l_2}{l_3 - l_4}$
	6.65	6.50	6.35	1.02308	1.02362
	53.50	52.55	51.20	1.01808	1.02637
	42.4	41.10	40.40	1.03163	1.01733
(n° 392)	5.00	4.75	4.65	1.05263	1.02150
	31.65	30.85	30.20	1.02593	1.02152
	16.75	16.35	16.20	1.02446	1.00926
	44.25	43.35	42.50	1.02076	1.02000
	53.50	51.90	50.95	1.03083	1.01864
	31.95	31.35	30.80	1.01914	1.01786
	31.05	30.50	29.80	1.01800	1.02349
	42.50	41.60	40.90	1.02163	1.01711
(n° 393)	30.05	29.25	28.65	1.02735	1.02094
	14.85	14.45	14.05	1.02768	1.02847
	16.25	15.85	15.50	1.02524	1.02258
	44.85	44.00	42.95	1.01932	1.02445
	42.70	41.35	40.45	1.03265	1.02225
	22.45	22.00	21.65	1.02045	1.01617
	74.00	72.50	70.80	1.02069	1.02401
	32.25	31.35	30.80	1.02871	1.01786
(n° 394)	7.65	7.30	7.20	1.04794	1.01389
	22.70	22.15	21.75	1.02483	1.01839
	21.80	21.20	21.0	1.02830	1.00952
	57.25	56.20	55.0	1.01868	1.02182
	22.05	21.30	21.00	1.03521	1.01429
$\sum_{(n° 387)}^{(n° 394)} (64) = 2098.40$	2047.90	2005.85	$D_1 = 1.02809$	$D_2 = 1.01945$	
	$D = 1.02286$			$D_A = 1.02377$	

Число всех взвешиваний (относящихся до одного из сравнений прототипов фунта) $m = 137$. Общий их результат, по отношению к определению декремента, по «сокращенному» способу (B), есть следующий:

$$\sum_{378}^{394} R(137) = \begin{matrix} \Sigma(l_1 - l_2) & \Sigma(l_3 - l_2) & \Sigma(l_3 - l_4) \\ 4528.15 & 4420.55 & 4328.90, \end{matrix}$$

а потому

$$D = \frac{4528.15 + 4420.55}{4420.55 + 4328.90} = 1.02277.$$

Сумма же всех отдельных декрементов равна $\Sigma D_A = 149.67736 + 139.74168 = 280.41904$, и всех их числом 274, так как каждое взвешивание дает 2 декремента. А потому общий средний декремент

$$D_A = 1.02343.$$

Разность $D - D_A = 0.00066$. Погрешность в D_A нельзя принимать по (II), считая $\delta = \pm 0.07$, равною $\Delta = \pm 0.00018$, взяв средний размах $R_1 = 33.05$ div. (т. е. если примем погрешность отдельного определения D равною $\Delta = \pm 0.07 \frac{1.023 \cdot 2.023}{33.05} = \pm 0.00438$), потому что D_A определяется из данных при разных размахах. Если бы, например, один размах был в 6 div., а другой в 60 div.[1] (средний размах был бы = 33 div.), то погрешность в первом могла бы быть ± 0.02415, а во втором ± 0.00241, в среднем из обоих, по крайней мере, ± 0.00896, а при двух наблюдениях, если бы в них был размах по 33 div., получилась бы погрешность около ± 0.00296, т. е. в 3 раза меньшая. Поэтому погрешность, возможная в D_A, в несколько раз более рассчитываемой по (II), если взять, как и сделано, все размахи вместе. Если же откинуть все взвешивания, где первый размах менее 20 div. и более 50 div., то останется (как увидим далее) 73 взвешивания, и тогда средний декремент по способу (A) получится равным 1.02331, что значительно ближе к числу, полученному по «сокращенному» способу. А так как при этом (B) способе прямо складываются элонгации или размахи, причем погрешности отдельных отсчетов (имея разные знаки, $+\delta$ и $-\delta$) уничтожаются (чего нет в такой мере при способе A), то декремент, полученный по «сокращенному» способу, вероятно, содержит погрешность, не большую, чем рассчитываемая по (II) в предположении, что все размахи равны среднему первому размаху, равному

$$\frac{\Sigma (l_1 - l_2)}{m} R_1.$$

Поэтому я считаю, что полученное выше по способу (B) из 137 взвешиваний значение декремента не содержит большей погрешности, как

$$\Delta_m = \pm \frac{0.675}{\sqrt{137 - 1}} \cdot 0.07 \frac{1.023 \cdot 2.023}{33.05} = \pm 0.00025,$$

[1] В разочтенном же примере были размахи и еще меньшие, даже до 0.8 div.

	$l_1 - l_2$	$l_3 - l_2$	$l_3 - l_4$	D	D_1	D_2	D_A
(n° 395)	19.40	18.85	18.45	236.05, 230.3, 225.5	1.02918	1.02168	$D_1 = 1.02630$
	42.00	41.20	40.20	$D = 1.02315$	1.01942	1.02488	$D_2 = 1.02039$
	36.55	35.35	34.70		1.03395	1.01873	$D_A = 1.02335$
	15.35	14.95	14.65		1.02676	1.02048	$D - D_A = -0.00020$
	28.25	27.70	27.05		1.01986	1.02403	
	11.75	11.40	11.25		1.03070	1.01333	
	49.30	48.50	47.35		1.01650	1.02429	
	33.45	32.35	31.85		1.03401	1.01570	
(n° 396)	16.10	15.80	15.50	295.5, 288.7, 283.05	1.01899	1.01935	$D_1 = 1.02393$
	62.55	61.30	59.75	$D = 1.02177$	1.02039	1.02594	$D_2 = 1.01901$
	35.00	33.90	33.35		1.03244	1.01649	$D_A = 1.02147$
	47.85	46.90	45.95		1.02026	1.02067	$D - D_A = +0.00030$
	10.30	10.05	9.85		1.02488	1.02030	
	20.05	19.60	19.35		1.02296	1.01292	
	59.30	58.20	57.00		1.01890	1.02105	
	44.35	42.95	42.30		1.03260	1.01537	
(n° 397)	17.20	16.85	16.65	275.35, 269.35, 264.3	1.02077	1.01201	$D_1 = 1.02477$
	62.05	60.90	59.55	$D = 1.02071$	1.01888	1.02267	$D_2 = 1.01757$
	22.10	21.35	21.10		1.03513	1.01185	$D_A = 1.02117$
	29.90	29.40	28.80		1.01701	1.02083	$D - D_A = -0.00046$
	45.55	44.60	43.70		1.02130	1.02059	
	12.70	12.25	12.05		1.03673	1.01660	
	59.80	58.70	57.55		1.01874	1.01998	
	26.05	25.30	24.90		1.02964	1.01606	

[Продолжение]

	$t_1 - t_2$	$t_3 - t_2$	$t_3 - t_1$	D	D_1	D_2	D_A
(n° 398)	25.15	24.65	24.10	282.3, 275.5, 270.15 $D = 1.02227$	1.02028	1.02282	$D_1 = 1.02561$ $D_2 = 1.01955$ $D_A = 1.02258$ $D - D_A = -0.00031$
	37.45	36.75	36.00		1.01905	1.02083	
	43.15	41.80	41.05		1.03230	1.01827	
	29.10	28.45	28.00		1.02285	1.01607	
	42.60	41.60	40.85		1.02404	1.01836	
	8.60	8.30	8.15		1.03614	1.01840	
	51.95	51.05	49.80		1.01763	1.02510	
	44.30	42.90	42.20		1.03263	1.01659	
(n° 399)	18.50	18.05	17.90	325.3, 317.95, 312.0 $D = 1.02111$	1.02493	1.00838	$D_1 = 1.02379$ $D_2 = 1.01750$ $D_A = 1.02064$ $D - D_A = +0.00047$
	71.45	69.95	68.40		1.02144	1.02266	
	31.95	31.15	30.65		1.02568	1.01631	
	42.70	41.60	40.90		1.02644	1.01711	
	25.15	24.65	24.30		1.02028	1.01440	
	28.55	27.90	27.35		1.02330	1.02011	
	67.80	66.60	65.15		1.01802	1.02226	
	39.20	38.05	37.35		1.03022	1 01874	
(n° 400)	23.70	23.10	22.65	254.7, 248.75, 243.4 $D = 1.02296$	1.02597	1.01987	$D_1 = 1.02361$ $D_2 = 1.02185$ $D_A = 1.02273$ $D - D_A = +0.00023$
	38.80	38.20	37.20		1.01571	1.02688	
	38.95	37.85	37.05		1.02906	1.02159	
	16.60	16.25	15.85		1.02154	1.02524	
	37.45	36.55	35.90		1.02462	1.01811	
	16.05	15.75	15.45		1.01905	1.01942	
	44.60	43.75	42.70		1.01943	1.02459	
	38.55	37.30	36.60		1.03351	1.01913	

[*Продолжение*]

	$l_1 - l_2$	$l_3 - l_2$	$l_3 - l_4$	D	D_1	D_2	D_A
(n° 401)	5.00	4.85	4.85	225.85, 230.2, 236.05, $D = 1.02237$	1.03093	1.00000	$D_1 = 1.02679$
	56.70	55.60	54.45		1.01978	1.02112	$D_2 = 1.01693$
	33.70	32.65	32.05		1.03216	1.01872	$D_A = 1.02186$
	13.30	13.00	12.80		1.02308	1.01563	$D - D_A = +0.00051$
	17.45	16.80	16.35		1.03869	1.02752	
	15.25	14.95	14.75		1.02007	1.01356	
	45.95	45.05	44.00		1.01998	1.02386	
	48.70	47.30	46.60		1.02960	1.01502	
(n° 402)	23.60	23.05	22.70	262.65, 268.1, 274.15, $D = 1.02167$	1.02386	1.01542	$D_1 = 1.02379$
	59.90	58.80	57.45		1.01871	1.02350	$D_2 = 1.02019$
	35.75	34.70	34.10		1.03026	1.01760	$D_A = 1.02199$
	24.85	24.20	23.60		1.02686	1.02542	$D - D_A = -0.00032$
	29.30	28.65	28.15		1.02269	1.01776	
	12.55	12.30	12.05		1.02033	1.02075	
	63.00	61.95	60.60		1.01695	1.02228	
	25.20	24.45	24.00		1.03067	1.01875	
(n° 403)	42.65	41.45	40 75	348.45, 355.1, 363.4, $D = 1.02125$	1.02895	1.01718	$D_1 = 1.02424$
	59.75	58.65	57.40		1.01876	1.02178	$D_2 = 1.01839$
	26.60	25.70	25.30		1.03502	1.01582	$D_A = 1.02132$
	39.65	38.80	38.05		1.02191	1.01971	$D - D_A = -0.00007$
	60.85	59.50	58.30		1 02269	1.02058	
	16.55	16.20	15.95		1.02160	1.01567	
	29.30	28.80	28.20		1.01736	1.02128	
	56.75	55.70	54.60		1.01885	1.02015	
	31.30	30.30	29.90		1.03300	1.01338	

[*Продолжение*]

	$l_1 - l_2$	$l_3 - l_2$	$l_3 - l_4$	D	D_1	D_2	D_A
(n° 404)	13.55	13.25	13.00	233.3, 238.2, 244.1, $D = 1.02291$	1.02264	1.01923	1.02421
	47.30	46.40	45.40		1.01940	1.02203	$D_1 =$ 1.02045
	42.15	40.80	40.05		1.03309	1.01873	$D_2 =$ 1.02233
	11.30	11.00	10.80		1.02727	1.01852	$D_A =$
	23.50	23.10	22.75		1.01732	1.01538	$D - D_A = +0.00058$
	30.05	29.45	28.85		1.02037	1.02080	
	33.15	32.50	31.65		1.02000	1.02686	
	43.10	41.70	40.80		1.03357	1.02206	
(n° 405)	33.70	32.95	32.40	267.25, 272.85, 279.2, $D = 1.02213$	1.02276	1.01698	1.02312
	30.85	30.25	29.35		1.01983	1.03066	$D_1 =$ 1.02124
	44.40	42.95	42.20		1.03497	1.01659	$D_2 =$ 1.02218
	40.45	39.60	38.85		1.02146	1.01931	$D_A =$
	19.40	18.90	18.55		1.02646	1.01887	$D - D_A = -0.00005$
	34.00	33.30	32.70		1.02102	1.01835	
	28.15	27.70	26.90		1.01625	1.02974	
	48.25	47.20	46.30		1.02225	1.01944	
(n° 406)	24.00	23.30	22.95	228.7, 233.15, 239.0, $D = 1.02230$	1.03004	1.01525	1.02710
	49.50	48.55	47.45		1.01957	1.02318	$D_1 =$ 1.01835
	28.00	26.80	26.40		1.04478	1.01515	$D_2 =$ 1.02273
	15.70	15.30	15.05		1.02614	1.01661	$D_A =$
	13.25	13.05	12.80		1.01533	1.01953	$D - D_A = -0.00043$
	33.00	32.50	31.90		1.01538	1.01881	
	59.25	58.05	56.80		1.02067	1.02201	
	16.30	15.60	15.35		1.04487	1.01629	

[*Продолжение*]

	$l_1 - l_2$	$l_2 - l_3$	$l_3 - l_4$	D	D_1	D_2	D_A
(n° 407)	12.65	12.30	12.15	231.05, 224.95, 220.3 $D = 1.02414$	1.02846	1.01235	$D_1 = 1.02723$ $D_2 = 1.02029$ $D_A = 1.02376$ $D - D_A = +0.00038$
	47.05	46.15	45.00		1.01950	1.02555	
	34.25	33.05	32.40		1.03631	1.02006	
	15.70	15.35	15.00		1.02280	1.02333	
	15.55	15.10	14.75		1.02980	1.02373	
	23.25	22.70	22.40		1.02423	1.01339	
	38.25	37.35	36.40		1.02410	1.02610	
	44.35	42.95	42.20		1.03260	1.01777	
(n° 408)	31.00	30.30	29.60	251.15, 245.15, 240.1 $D = 1.02277$	1.02310	1.02365	$D_1 = 1.02973$ $D_2 = 1.01980$ $D_A = 1.02476$ $D - D_A = -0.00199$
	53.95	52.85	51.80		1.02081	1.02027	
	24.10	23.20	22.85		1.03879	1.01532	
	10.10	9.75	9.60		1.03590	1.01563	
	39.70	38.90	38.10		1.02057	1.02100	
	15.35	15.00	14.70		1.02333	1.02041	
	53.55	52.55	51.20		1.03996	1.02637	
	23.40	22.60	22.25		1.03540	1.01573	
(n° 409)	28.65	28.05	27.40	250.45, 244.6, 239.4 $D = 1.02283$	1.02139	1.02372	$D_1 = 1.02498$ $D_2 = 1.02156$ $D_A = 1.02327$ $D - D_A = -0.00044$
	60.85	59.60	58.25		1.02097	1.02318	
	24.35	23.50	23.10		1.03617	1.01732	
	14.70	14.40	14.00		1.02083	1.02857	
	18.35	17.95	17.55		1.02228	1.02279	
	30.45	29.75	29.25		1.02352	1.01709	
	49.50	48.55	47.40		1.01957	1.02426	
	23.60	22.80	22.45		1.03509	1.01559	

[Продолжение]

	$t_1 - t_2$	$t_3 - t_2$	$t_3 - t_4$	D	D_1	D_2	D_A
(n° 410)	18.25	17.85	17.45	271.0, 264.35, 258.65	1.02241	1.02292	$D_1 = 1.02437$
	43.00	42.20	41.30	$D = 1.02361$	1.01896	1.02179	$D_2 = 1.02245$
	44.45	43.00	42.15		1.03372	1.02017	$D_A = 1.02341$
	43.25	42.25	41.25		1.02367	1.02424	$D - D_A = +0.00020$
	20.25	19.80	19.35		1.02273	1.02326	
	24.95	24.40	23.90		1.02254	1.02092	
	38.80	38.10	37.10		1.01837	1.02695	
	38.05	36.75	36.15		1.03256	1.01936	
$\sum$(n° 410)	4308.75	4207.20	4123.05		132.25276 : 129		131.54267 : 129
$\sum$(129)		$D_1 = 1.02413$	$D_2 = 1.02041$		$D_{1A} = 1.02521$		$D_{2A} = 1.01971$
$\sum$(n° 395)		(по B)	$D = 1.02229$			(по A)	$D_A = 1.02246$

и ближе к истине, чем D_A. Некоторое указание в этом смысле дает то обстоятельство, что первая часть взвешиваний, содержащая 73 определения, дает по «сокращенному» способу $D = 1.02275$, а вторая часть, содержащая 64 взвешивания, дает по тому же способу $D = 1.02286$, разность $= -0.00011$, по способу же (A) эти части наблюдений дают $D_A = 1.02313$ и 1.02377, разность $= -0.00064$, и она в $5\frac{1}{2}$ раз больше, чем по способу (B), что повторяется и в других случаях.

Чтобы еще ближе разобрать отношение между двумя рассматриваемыми способами вывода среднего декремента из многих (m от 80 до 140) обычных взвешиваний, разочтены для данных n° 395 до n° 410 (ч. IV, стр. 11—13) не только общее среднее для всех 129 взвешиваний, но и для каждой группы, содержащей по 8 (или 9) взвешиваний, как D, так и D_A, чтобы найти этим путем «вероятную» погрешность общего среднего, полученного по обоим способам. В прилагаемой таблице (стр. 418—423) сверх таких же данных, как и в таблице на стр. 413—416, даны для каждой группы (столбец 5-й) ΣR_1, ΣR_2, ΣR_3

и D (по способу В), относящийся к этой группе, а в последнем столбце даны для каждой группы: средние D_1 (т. е. среднее R_1/R_2), D_2 (т. е. среднее значение R_2/R_3), общее среднее D_A (т. е. декремент по способу А) и разность $D - D_A$, чтобы показать, что D_A иногда бывает менее D, хотя обыкновенно D_A более D.

Сопоставляя теперь средние, полученные по группам, и выводя общие средние, видим, что по «сокращенному» способу «вероятная» погрешность не только не больше, но даже немного меньше, чем по способу (А).

n°	По «сокращенному» способу	Разность от среднего	По способу (А)	Разность от среднего
395	1.02315	—0.00075	1.02325	—0.00098
396	2177	+ 63	2147	+ 100
397	2071	+ 169	2117	+ 130
398	2111	+ 129	2258	— 11
399	2270	— 30	2064	+ 183
400	2296	— 56	2273	— 26
401	2237	+ 03	2186	+ 61
402	2167	+ 73	2199	+ 48
403	2125	+ 115	2132	+ 115
404	2291	— 51	2233	+ 14
405	2213	+ 27	2218	+ 29
406	2230	+ 10	2273	— 26
407	2414	— 174	2376	— 129
408	2277	— 37	2476	— 229
409	2283	— 43	2327	— 80
410	2361	— 121	2341	— 94
Среднее . .	1.02240		1.02247	

Сумма квадратов разностей от среднего (или погрешностей по группам) равна

$\Sigma\Delta^2$ 1.28960 1.76071.

А потому вероятная погрешность выведенных средних равняется:

способ (В): ± 0.000156, способ (А): ± 0.000183.

Выведенное по «сокращенному» способу среднее D приобретает таким образом надлежащую опору и большую степень доверия, а потому мы принимаем за вывод:

$$D_{395}^{410} = 1.02229 \pm 0.00026.$$

Последнее число рассчитано как «возможная» погрешность, по (II), считая $\delta = \pm 0.07$, $m - 1 = 128$ и средний первый размах $R_1 = 33.40$.

Отсюда можно заключить, что, отыскивая «сокращенный» способ расчета, мы пришли к способу, представляющему, кроме простоты расчета, много условий достоверности, важность которых видна уже из того, что в средних выводах, полученных только из 8 взвешиваний, вероятная погрешность (квадратическая погрешность отдельного вывода группы) не превосходит ± 0.00028, судя по $\Sigma\Delta^2$, полученной выше для «сокращенного» способа. Таким образом, я считаю доказанным то обстоятельство, что, находя средний декремент, как

$$\frac{(\Sigma l_1 - \Sigma l_2) + (\Sigma l_3 - \Sigma l_2)}{(\Sigma l_3 - \Sigma l_2) + (\Sigma l_3 - \Sigma l_4)} = D$$

(что и применяется часто в дальнейшем исследовании), мы пользуемся приемом, облегчающим расчеты без всякого вреда для точности выводов, — быть может, даже точность при этом увеличивается.

§ 6. Сообщив в предыдущих параграфах приемы, примененные для вывода декрементов, прежде чем перейти к самому исследованию колебаний, считаю необходимым остановиться на определении вероятной средней погрешности, содержащейся в наблюдениях, служащих основанием для всех дальнейших выводов, так как необходимо по самым данным убедиться в том, что их погрешность не превосходит известного, принятого выше, предела «возможных» погрешностей единичного отсчета элонгаций и размахов или отклонений:

$$\Delta(l) = \Delta(R) = \Delta(r) = \pm 0.07 \text{ div.}$$

Такую погрешность я принял лишь по той причине, что деления шкалы мелки и прямо наглаз наблюдателей подразделяются на десятые и двадцатые части, причем гранью видимой разницы принимается, опять наглаз, ± 0.05 div.[1] А мне известно, по особому личному опыту, что при внимательном отсчете многих данных по шкале можно с полною уверенностью определять только $^1/_{14}$—$^1/_{15}$ деления наглаз, а потому в подобных случаях следует принять «возможную»

[1] Вследствие этого в записи элонгаций в сотых долях div. встречаются или нули, или 5 и обыкновенно нет никаких других цифр.

погрешность $= \pm 0.07$ div. Эту меру погрешности я и принял для отсчетов по шкале при взвешиваниях, производившихся преимущественно Ф. П. Завадским и В. Д. Сапожниковым, изредка при участии А. Н. Доброхотова. Но такое допущение, во-первых, следовало проверить по той причине, что наблюдений и записей велось множество, причем могли входить случайные погрешности разного рода (неверная запись, случайная неясность зрения и т. п.), во-вторых, желательно было получить суждение о мере «личных» погрешностей отсчета обоих главных наблюдателей, не перенося личного своего опыта на других лиц, и, в-третьих, следовало не забывать, что колебательное движение, во время которого должно производить моментально отсчет, представляет много шансов для погрешности всех отсчетов. Все это заставляло меня многократно возвращаться, при разных случаях, представлявшихся в исследовании, к определению «вероятной» средней погрешности, заключающейся в записях элонгаций, служащих исходом для суждений как о весе сравниваемых гирь, так и о колебаниях, при этом происходящих. Можно было думать, что погрешность отсчетов в среднем более той (± 0.07), какую я принял, но каждый раз (многими способами), как я принимался за этот предмет, всегда получалась величина средней «вероятной» погрешности или менее, или немногим более принятой выше, и она обыкновенно оказывалась близкою к ± 0.07 div., т. е. к той, какая видна из самого способа записи данных. Если же признать ± 0.07 div. за среднюю вероятную погрешность единичного отсчета, то возможную среднюю погрешность должно было сколько-либо увеличить, например, до ± 0.09 div., чем, конечно, не устраняется возможность в исключительных обстоятельствах случайно несколько бóльших погрешностей, но они, наверное, могли быть очень редки, часто выступали при рассмотрении записей, и для устранения их в некоторых случаях, при малейшем поводе, сами наблюдатели повторяли отсчет или все взвешивание,[1] а иногда, хотя и очень редко, просто уничтожали всю — сомнительную — запись, начиная взвешивание снова.

Для доказательства вышеуказанного я выбираю, как один из многих, пример, основанный на данных, помещенных в предшествующем параграфе, особенно по той причине, что разбор помещенных там данных сделан был для реше-

[1] Примером тому может служить хотя бы двукратное определение *TA* в n° 381 (ч. IV, стр. 9), отчего здесь 9 взвешиваний вместо 8.

ния вопроса о зависимости декремента от величины и порядка размахов; к чему мы обратимся в одном из ближайших параграфов, так что приводимые далее таблицы послужат нам и для другой части исследования.

В следующей таблице данные отдельных взвешиваний от n° 378 до n° 394 (см. § 5) распределены на четыре группы, сообразно с величиною первого размаха $(l_1 - l_2)$ и по порядку номеров записи, причем даны оба декремента $D_1 = \frac{l_1 - l_2}{l_3 - l_2}$ и $D_2 = \frac{l_3 - l_2}{l_3 - l_4}$, полученные из размахов (по A); затем взяты средние, т. е. найдена средняя величина первого размаха R_1 и средние D_1 и D_2 и для них разочтена, по общеизвестным формулам,[1] как вероятная погрешность среднего Δ_m, так и средняя вероятная погрешность (квадратическая) Δ' отдельного определения. Для других целей нам необходимы все эти данные, а теперь остановимся только на квадратических погрешностях отдельных определений размахов или элонгаций.[2]

Вероятная средняя погрешность Δ' отдельного определения по средней величине первого размаха R_1 и по формуле (I) дает возможность в каждой группе расчесть погрешность отсчета δ по формуле (I):

$$\delta = \frac{\Delta' R_1}{D(1+D)}.$$

Таким образом мы получаем для групп:

		Группы				
		I	II	III	IV	
Погрешность отсчета δ	для D_1	±0.116	±0.089	±0.109	±0.105	div.
	для D_2	±0.048	±0.054	±0.066	±0.064	»

Общая погрешность отсчета

$$\delta = \pm 0.081 \text{ div.}$$

---

[1] А именно: $\Delta_m = \pm 0.6745 \sqrt{\frac{\Sigma\Delta^2}{m(m-1)}}$ и $\Delta' = \pm \sqrt{\frac{\Sigma\Delta^2}{m-1}}$, где m есть число данных и Δ есть разность каждого из них от среднего.

[2] Напомним, что в § 2 показано, что среднюю погрешность размахов должно принять равною средней погрешности элонгаций, потому что в двух соседних размахах одна им общая элонгация: например, в R_1 и R_2 элонгация l_2.

I (0—19.95 div.)				II (20—34.95 div.)			
n°	R_1	D_1	D_2	n°	R_1	D_1	D_2
378	16.8	1.03385	1.02201	**378**	30.65	1.02367	1.01868
	10.15	2525	2062	**379**	29.1	2827	1799
	11.6	2203	1794		34.7	2209	2105
	5.0	9890	0000		22.5	2740	1860
380	16.45	3135	1592	**380**	25.9	3600	1420
	4.7	6818	4762	**381**	23.25	1528	2691
	19.6	1818	1583		25.45	2004	2045
381	8.0	0000	0629		31.2	1961	2341
383	17.2	1475	2108	**382**	32.7	2508	2080
384	10.8	2857	1942		30.2	1684	2591
	16.55	2477	1572		25.80	1976	2222
	9.6	3225	1087		33.1	2160	2532
	7.4	2778	2128		25.05	2037	2292
385	0.8	0000	0000	**383**	30.15	3077	1211
386	5.85	2632	1786		26.45	4134	1804
	7.25	2837	2920		25.3	2637	1860
	19.4	2375	2156		21.0	2941	2000
387	12.5	3306	1255		26.7	2890	1965
	6.5	3175	0800	**384**	32.35	3025	1618
	9.9	2591	1047		21.6	4096	1467
388	4.0	6667	1351	**385**	31.65	1768	1967
	10.4	1961	2000		21.8	2108	2892
	10.9	2830	0952		25.35	2627	2066
389	0.5	1.11111	0000	**386**	22.1	2315	2370
	11.15	2765	2844	**387**	24.8	2905	1688
	8.95	2286	2339		31.45	3967	2196
	18.35	1944	2564	**389**	34.2	3012	2469
390	17.35	2059	2102	**390**	31.05	2645	2024
391	8.20	1863	1258		23.05	3596	1598
	18.70	3601	1690		30.95	2653	1686
	16.65	1834	2187		32.05	3554	1809
392	6.65	2308	2362	**391**	28.05	3315	1306
	5.00	5263	2150	**392**	31.65	2593	2152
	16.75	2446	0926	**393**	31.95	1914	1786
393	14.85	2768	2847		31.05	1800	2349
	16.25	2524	2258		30.05	2735	2094
394	7.65	4794	1389	**394**	22.45	2045	1617
					32.25	2871	1786
					22.70	2483	1839
					21.80	2830	0952
					22.05	3521	1429
$(m=37)$	$R_1=11.04$	1.03203	1.01742	(41)	27.70	1.02675	1.01947
	$\Delta_m=$	±0.00249	±0.00101			±0.00074	±0.00043
	$\Delta'=\sqrt{\frac{\Sigma\Delta^2}{m-1}}=$	±0.0220	±0.0090			±0.0067	±0.0040

III (35—49.95 div.)				IV (50 div. и более)			
n°	R_1	D_1	D_2	n°	R_1	D_1	D_2
378	45.65	1.01897	1.02283	**378**	60.3	1.02551	1.02439
	38.0	3121	2078	**379**	70.2	2109	2307
379	48.95	2944	1929		72.3	1831	2158
	44.1	2320	1771	**380**	58.75	2174	1860
	37.9	2571	1931		69.00	1770	2262
381	48.3	2440	2167		50.90	2932	1959
	44.75	2052	1977		58.10	1840	2424
	35.8	2285	3093	**381**	57.35	1956	2459
	49.15	3256	1927	**383**	50.00	1833	2294
382	41.60	2086	2003		61.75	1898	2451
	40.05	2692	2497	**384**	65.25	2032	2484
	45.2	2262	1726		62.80	1948	2241
385	35.4	2907	1775	**385**	60.20	2034	2520
	36.1	1834	2457	**387**	66.05	1850	2530
	39.5	3539	2005		65.40	2028	2233
386	39.9	2177	2359	**388**	55.90	1821	2330
	41.8	3210	2015		50.30	2340	2824
	42.10	2433	2494	**389**	58.50	1916	2317
	37.40	3601	1977		55.05	2801	2000
387	41.15	2491	1903	**390**	53.85	2085	2526
388	38.60	3209	1769	**391**	64.35	1659	2262
	39.65	2323	2243		63.95	2320	2124
	46.50	3333	2156		52.10	1758	2196
389	47.50	2151	1974	**392**	53.50	1808	2637
390	49.75	2789	2002		53.50	3083	1864
	46.60	1858	2925	**394**	74.00	2069	2401
391	45.50	3058	1845		57.25	1868	2182
392	42.40	3163	1733				
	44.25	2076	2000				
393	42.50	2163	1711				
	44.85	1932	2445				
	42.70	3265	2225				
(32)	42.61	1.02607	1.02106	(27)	60.02	1.02086	1.02397
		$\Delta_m =$ ±0.00064	±0.00039			±0.00047	±0.00029
$\Delta' = \sqrt{\frac{\Sigma\Delta^2}{m-1}}$		±0.0053	±0.0032			±0.0036	±0.0022

I (0—19.95)			II (20—34.95)		
n°	R_1	D	n°	R_1	D
395	19.40	1.02543	395	28.25	1.02195
	15.35	2362		33.45	2485
	11.75	2201	396	20.05	1794
396	16.10	1917	397	22.10	2349
	10.30	2259		29.90	1892
397	17.20	1639		26.05	2285
	12.70	2667	398	25.15	2155
398	8.60	2727		29.10	1946
399	18.50	1665	399	31.95	2099
400	16.60	2339		25.15	1734
	16.05	1924		28.55	2171
401	5.00	1546	400	23.70	2292
	13.30	1936	401	33.70	2544
	17.45	3310	402	23.60	1964
	15.25	1682		24.85	2614
402	12.55	2054		29.30	2022
403	16.55	1863		25.20	2471
404	13.55	2094	403	26.60	2542
	11.30	2289		29.30	1932
405	19.40	2267		31.30	2319
406	15.70	2137	404	23.50	1635
	13 25	1743		30.05	2059
	16.30	3058		33.15	2343
407	12.65	2041	405	33.70	1987
	15.70	2306		30.85	2524
	15.55	2627		34.00	1969
408	10.10	2576		28.15	2299
	15.35	2187	406	24.00	2265
409	14.70	2470		28.00	2996
	18.35	2254		33.00	1710
410	18.25	2266	407	34.25	2818
				23.25	1881
			408	31.00	2338
				24.10	2705
				23.40	2557
			409	28.65	2255
				24.35	2675
				30.45	2030
				23.60	2534
			410	20.25	2300
				24.95	2173

[*Продолжение*]

III (35—49.95)			IV (50 и >)		
n°	R_1	D	n°	R_1	D
395	42.00	1.02215	**396**	62.55	1.02316
	36.55	2634		59.30	1998
	49.30	2039	**397**	62.05	2077
396	35.00	2447		59.80	1936
	47.85	2046	**398**	51.95	2137
	44.35	2399	**399**	71.45	2205
397	45.55	2094		67.80	2014
398	37.45	1994	**401**	56.70	2045
	43.15	2529	**402**	59.90	2110
	42.60	2120		63.00	1962
	44.30	2461	**403**	59.75	2027
399	42.70	2177		60.85	2163
	39.20	2448		56.75	1950
400	38.80	2130	**405**	59.25	2134
	38.95	2532	**408**	53.95	2054
	37.45	2137		53.55	3317
	44.60	2201		60.85	2207
	38.55	2632			
401	45.95	2192			
	48.70	2231			
402	35.75	2398			
403	42.65	2306			
	39.65	2081			
404	47.30	2072			
	42.15	2591			
	34.10	2781			
405	44.40	2578			
	40.45	2039			
	48.25	2084			
406	49.50	2138			
407	47.05	2252			
	38.25	2510			
	44.35	2519			
408	39.70	2078			
409	49.50	2192			
410	43.00	2037			
	44.45	2695			
	43.25	2395			
	38.80	2266			
	38.05	2596			

Чтобы показать общность и сравнительную достоверность такого вывода, рассмотрим еще данные п°п° 395—410 [стр. 430—431], которые, приведены в § 5 (стр. 418—423). Расположение таблицы и группы здесь те же, как в предшествующей таблице, с тою только разностью, что для каждого взвешивания дается лишь один средний декремент (среднее из D_1 и D_2 по способу А, § 5), величина которого, в зависимости от R_1, будет нам нужна при дальнейшем изложении. Для каждой группы даем отдельно средние: R_1, Δ_m, Δ' и δ.

Группа	Число данных	R_1	Средний декремент	Вероятная погрешность		Погрешность отсчета
				среднего D_m	отдельного D	
I	31	14.6	$D_m = 1.02224$	$\Delta_m = \pm 0.00049$	$\Delta' = \pm 0.00398$	$\delta = \pm 0.028$
II	41	27.7	2240	0.00033	0.00311	0.042
III	40	42.6	2332	0.00024	0.00221	0.045
IV	17	60.0	2156	0.00052	0.00338	0.098

Среднее из четырех полученных здесь

$$\delta = \pm 0.033 \text{ div.}$$

еще менее полученного из первой таблицы. Общее среднее из всех (отступлений от средних декрементов) рассмотренных взвешиваний, близкое к

$$\delta = \pm 0.07 \text{ div. (от } \pm 0.03 \text{ до } \pm 0.11 \text{ div.)},$$

во-первых, в значительной мере оправдывает наше предположение о том, что ошибка отсчета в среднем не превосходит $\pm 0{,}07$ div., а во-вторых, показывает, что наблюдения, служащие для нашего исследования, произведенные Ф. П. Завадским и В. Д. Сапожниковым, отличаются всею желательною и возможною точностью.[1] Такой вывод, подтвер-

[1] Дальнейшее увеличение точности отсчетов возможно при помощи удаления шкалы и трубы или увеличения мелкости делений шкалы и оптической силы трубы, но устройство весовой комнаты (см. ч. I)* не позволяло увеличивать расстояний, не вводя многих рискованных приспособлений и не усиливая освещения, которое со своей стороны должно было вредно действовать на весы. Но я предвижу в будущем возможность значительно увеличить точность отсчетов элонгаций, записывая их (регистрируя) фотографически, для чего проделаны уже (А. Н. Добро-

* Ч. I Отчета о возобновлении прототипов не воспроизводится. См. стр. 393 наст. тома. [*Прим. ред.*].

жденный с разных других сторон и часто дававший мне меньшие средние погрешности, служил для меня одной из причин, по которым я решился не упускать случая для изучения колебания весов, особенно потому, что другие сложные обязанности, возлагаемые на Главную палату мер и весов, могут не позволить возвратиться к указанному предмету.

Получив конкретное убеждение в большой точности средних отсчетов элонгаций, я неоднократно возвращался к решению вопроса (насколько это возможно по роду собранных данных) о мере различия «личных» погрешностей обоих наблюдателей,[1] так как «субъективность» обычного отсчета элонгаций составляет присущую им особенность, и мне хотелось убедиться в роли «личных» особенностей наблюдателей, прежде чем приступить к самому исследованию. Для этой цели воспользуемся[2] вышеприведенными данными, распределив их в каждой из двух средних наиболее полных групп (II и III) по наблюдателям. При этом для данных n°n° 379—394, как и для n°n° 395—410, взяты лишь средние декременты. Весь материал для этого дан выше, а в ч. IV, стр. 9—12, даны имена наблюдателей для каждого взвешивания, а потому я привожу лишь результаты, полученные в отношении к величинам Δ' и δ.

В указанных группах данных, наблюденных Ф. П. Завадским, всего оказалось 88, и они распределялись по группам так:

	Группы II	Группы III
Число данных, m	35	53
Средний первый размах, R_1	28.76	42.28 div.
Средний декремент, D	1.02216	1.02353
Вероятная его погрешность, $\pm\Delta_m$.	$\pm$0.00032	$\pm$0.00024
Средняя погрешность отдельного числа, $\pm\Delta'$	$\pm$0.00249	$\pm$0.00257
Средняя погрешность отсчета, $\pm\delta$.	$\pm$0.035	$\pm$0.052

хотовым) первые предварительные опыты. Однако они показали, что для введения такой объективной записи (фотограммы можно измерять очень точно и после окончания взвешивания) необходимы не только новые ценные устройства, но и много особых опытов, для чего у нас не оказалось свободного времени.

[1] В каждом листе записей означена фамилия наблюдателя, и в ч. IV, стр. 9 и след. буквы З. и С., стоящие около n° листа (столбец 2-й), отвечают им (Завадский и Сапожников), а потому всегда известно, кем произведен отсчет.

[2] Но я считаю необходимым упомянуть, что сверх указанного я производил такой же разбор в отношении к «личным» погрешностям отсчетов З. и С. еще в двух случаях столь же многих данных, как здесь, но мне кажется излишним публиковать все это, потому что вывод получался каждый раз почти такой же.

Отсюда общая средняя погрешность отсчета:

$$\delta З. = \pm 0.04 \text{ div.}$$

Точно так же для данных, наблюденных В. Д. Сапожниковым, число которых в обеих группах оказалось равным 66, получено:

Число данных, m	47	19
Средний первый размах, R_1	26.87	43.44 div.
Средний декремент, D	1.02320	1.02262
Вероятная его погрешность, $\pm\Delta_m$	$\pm$0.00032	$\pm$0.00023
Средняя погрешность отдельного определения, $\pm\Delta'$	$\pm$0.00318	$\pm$0.00150
Средняя погрешность отсчета, $\pm\delta$	$\pm$0.046	$\pm$0.032 div.

Отсюда общая средняя погрешность отсчета

$$\delta С. = \pm 0.04 \text{ div.}$$

Отсюда видно, во-первых, что средняя погрешность обоих наблюдателей почти одинакова, во-вторых, что ее величина не превосходит вполне возможных и неизбежных погрешностей отсчета, т. е. что отдельные наблюдения во всяком случае достоверны в среднем до $\pm$ 0.07 div., и, в-третьих, что наблюдения, далее рассматриваемые, в указанном пределе $\pm$0.07 div. представляют всю желаемую точность.

В заключение всех вышеизложенных предварительных сведений считаю необходимым указать на способы многочисленных и сложных расчетов, производившихся при изучении весовых колебаний, так как здесь возможны большие погрешности, зависящие от массы случайных ошибок счета. Все главные расчеты произведены лично мною, и я каждый раз, произведя расчет, если была какая-либо возможность подметить правильность известного рода, поверял его графически на больших листах бумаги, деленной на квадраты в $^1/_{10}$ дюйма,[1] чрез что очень часто легко открывались погрешности счета. Но все же ни один из таких расчетов не приведен далее без независимой его новой проверки, которую производил кто-либо из следующих лиц: О. Э. Оза-

[1] Такая бумага, находясь в продаже, представляет для моих уже слабых глаз то удобство, что ее деления достаточно крупны (около $2^1/_2$ мм) для того, чтобы я мог различать наглаз (с очками) $^1/_{15}$ деления. Такая же бумага служила для прилагаемых диаграмм, которые уменьшены фотографиею.

ровская, Е. Ф. Эндимионова (обе кончили курс на Высших женских курсах и состоят лаборантами в Главной палате мер и весов), Н. И. Адамович (кончил курс в Юрьевском университете, лаборант Главной палаты) и И. Д. Менделеев (мой сын, гимназист 8-й гимназии). Некоторые из приводимых в этой главе расчетов произведены или проверены механиком Главной палаты А. Н. Доброхотовым и г-жами Озаровскою и Эндимионовою, часть расчетов и проверок производили, кроме того, следующие лица из числа служащих в Главной палате: В. Д. Сапожников, В. А. Мюллер, К. Н. Егоров и Н. И. Адамович, и таким образом *каждый из расчетов повторен двукратно*, чтобы по возможности избежать, имея определенно точные данные, погрешностей расчета. При расчетах очень много пользовались счетною машиною В. Т. Однера, представляющею много удобств и возможность оперировать над многоциферными числами. Из вспомогательных книг при расчетах более всего применялись; *Barlow's* Tables (stereotype edition, 1897) и Tables de Logarithmes à huit décimales (publiées p. ordre du ministre de la guerre. Paris, 1891).

---

§ 7. Так как в сколько-либо чувствительных и точных весах центр тяжести очень близко (части миллиметра) лежит под точкою опоры и времена качаний (одного размаха) велики, достигая 30, 45 и даже 60 секунд, то считая амплитуду (отклонение) качаний малою и применяя общеизвестную формулу:

$$t=\pi\sqrt{\frac{l}{g}},$$

получаем для длины синхронического (математического) маятника (полагая $g=9.8193$ м) длину l:

Если время 1 размаха, t или $\pi\sqrt{\frac{l}{g}}=$	30	45	60 секунд
Длина синхронического математического маятника, $l=$	895.4	2014.7	3581.7 м

При такой большой длине математического (а также и синхронического ему физического) маятника нельзя уже считать его колебания изохроническими даже при малых дугах амплитуд или «отклонений» α, а следует рассчиты-

вать их времена по формуле эллиптических функций дуги или по ряду:

$$t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}\left[1 + \frac{1}{4}\sin^2\frac{\alpha}{2} + \frac{9}{64}\sin^4\frac{\alpha}{2} + \ldots\right].$$

Считая шкалу весов деленною на миллиметры и радиус (расстояние от шкалы до зеркала на коромысле и оттуда до фокуса окуляра отсчетной трубы) равным 6 м, получим, что при амплитуде в 100 div. дуга α почти равна $^1/_2$ градуса. Тогда $\sin^2\frac{\alpha}{2}$ близок к 0.000016, следовательно в скобках стоящий множитель близок к 1.000004, и время одного размаха будет уменьшаться от этой величины до 1, например, от 45 до 44.9998 секунды. В действительности, хотя амплитуды или отклонения r в наших обычных наблюдениях менее $^1/_2{}^\circ$ (редко они более 10 минут по дуге), убыль времен (по мере уменьшения размахов) гораздо более вышеуказанной, как видно из приводимых вслед за сим некоторых данных **о временах колебания нагруженных весов.** Эти данные собирались попутно, при изучении убыли амплитуд (о чем говорится далее подробно) колебаний, и относятся большею частью к весам Рупрехта и Неметца, описываемым в следующих главах. Привожу здесь все собранные данные, чтобы показать, что колебания весов явно не изохронны. На эти данные должно смотреть, как на первое приближение к действительности. Первый из приводимых примеров рассмотрен подробнее, чтобы показать примененный мною способ первоначальной обработки собранных данных, замечая, что, собрав более точные наблюдения, я подверг их более полной обработке (§ 13).

В наблюдении n° 886 (17 января 1898 г.) с весами Рупрехта, когда записана часть 70 элонгаций, времена отмечены 7 раз при помощи хронографических часов с двумя особыми секундными стрелками и особою минутною, которые можно ставить на нуль, пускать в замечаемое время и останавливать в определенный момент, надавливая на особые пружины. Момент определялся прохождением указателя движущегося коромысла чрез определенное деление шкалы, близкое к равновесию,[1] а именно на пути от больших показаний шкалы к малым, так что записи могли возобновляться только после одного пропущенного размаха или тогда,

[1] Тогда скорость движения наиболее велика, и отсчет времени точнее.

когда произошло полное колебание или некоторое их число. А так как запись элонгаций l ведется по числу их n, считая при первой записанной элонгации $n=1$, то наблюденные времена должно считать относящимися к средине между временем предшествующей и последующей элонгаций. Нуль времени отмечался обыкновенно между первою и второю записями, а потому относится по времени элонгаций к $n=1.5$; если запись времен сделана, например, между 57-ою и 58-ою элонгациями, то мы пишем, что для нее $n=57.5$. Так получены следующие записи времен T, приведенные к секундам и их десятым:

$n=1.5$	3.5	5.5	55.5	57.5	59.5	69.5	
$T=0$	89.8	179.4	2405.2	2494.2	2583.2	3026.6	сек.

Судя по способу наблюдений и по тому, что на взятом хронографе отмечены только пятые доли секунды, конец же стрелки часов имеет толщину, возможная погрешность в отсчете не менее ± 0.5 секунды. Данные наблюдений дают возможность определять время одного размаха t, или $\frac{dT}{dn}$, или конечную разность, отнесенную к среднему n, что справедливо, если принять, что $T=A+Bn+Cn^2$; потому что тогда

$$\frac{T_1-T_2}{n_1-n_2}=B+2C\left(\frac{n_1+n_2}{2}\right),$$

а это и есть производная для среднего n, производная же здесь есть время одного размаха t:[1]

$n=$	2.5	4.5	30.5	56.5	58.5	64.5
$t=$	44.9	44.8	44.516	44.5	44.5	44.34

Эти числа достаточно хорошо соответствуют равенству

$$\frac{dT}{dn}=B+2Cn=t=44.80-0.00736\ n.$$

Это показывает, что в условном уравнении $B=+44.80$ и $C=-0.00368$, а потому, исходя из того, что при $n=1.5$ значение $T=0$, имеем:

$$T=-67.19+44.80\ n-0.00368\ n^2.$$

[1] Таким образом, в этом (первом) расчете принято (гипотеза), что времена T выражаются параболою по n, а такое допущение *в пределе возможных погрешностей*, очевидно, справедливо, хотя его нельзя принять для эксполирования, так как оно дает minimum.

Точность этого выражения невелика (± 0.7 секунды), но сущность явления оно изображает ясно.

При повторении подобных расчетов и определений многократно, постоянно получался подобный же результат, т. е. *время одного размаха колеблющихся весов явно уменьшается с каждым размахом*, или: колебания весов не изохронны, и убыль времен размахов не объясняется длиною синхронического (математического) маятника или большим расстоянием в весах между центром качания и точкою опоры.

Засим в доказательство выставленного результата привожу еще ряд наблюдений (Завадского и Сапожникова) под номерами записей. Для некоторых рядов прямо дано выведенное равенство, выражающее ход явления, причем применены способы, тождественные с вышеприведенным, а для других рядов даны промежуточные времена одного размаха (t), так как изучение явления показало, что парабола (с n^2) для T и линейное выражение для t недостаточны при больших n.

1) n° 885. Весы Рупрехта, навеска (как в n° 886 и как в остальных) $=1$ фунту $+$ подставка из горного хрусталя; первый размах $=48.4$ div. (для n° 886 он $=50.4$ div.). Вес литра воздуха $e=1.1829$ г (а для n° 886 $e=1.1980$).

$n=$	1.5	3.5	5.5	55.5	57.5	59.5
$T=$	0	89.6	179.6	2409.6	2498.4	2587.4 сек.

$$T = -67.36 + 44.912\ n - 0.005\ n^2. \qquad t = 44.912 - 0.01\ n.$$

2) n° 877. Весы и навеска те же, но с одной стороны лежал фунт из горного хрусталя, с другой из PtIr; первый размах $=85.75$ div.

$n=$	1.5	3.5	5.5	21.5
$T=$	0	91.6	184.0	916.2
$t=$		45.8	46.2	45.14

3) n° 881. Весы и навеска те же, как в n° 887; первый размах R_1 (или почти $2\ r_1$) 91.65 div., пятый 81.4 div.

$n=$	5.5	7.5	9.5	23.5	37.5	39.5	45.5	47.5	71.5
$T=$	0	93.8	186.6	833.2	1479.2	1570.6	1846.6	1938.4	3036.4
$t=$	46.9	46.4	46.19	46.14	45.7	46.0	45.9	45.75	

Убыль t очевидна и несомненна. $e=1.1988$.

4) n° 883. Весы и навеска такие же, как в n°n° 885 и 886, т. е. с обеих сторон фунты из иридистой платины. Первый размах $2r = R_1 = 169.0$ div.

$n =$	1.5	3.5	5.5	125.5
$T =$	0	90.4	181.6	5520.0 сек.
$t =$	45.2	45.6	44.49	

Убыль t несомненна, но, как в n° 885, времена T менее, чем в других наблюдениях, хотя здесь размахи больше, а в n° 885 меньше, чем в других.

5) n° 884. Весы и навеска те же. $R_1 = 156.9$ div.

$n =$	1.5	3.5	5.5	121.5	123.5	125.5
$T =$	0	90.0	180.6	5334.8	5423.8	5512.4
$t =$	45.0	45.3	44.43	44.5	44.3	

Времена здесь еще меньше, чем в n° 883. Причиною служит, по всей вероятности, разность в плотности воздуха. Для n° 883 вес литра воздуха $e = 1.1944$, а для n° 884 $e = 1.1655$ г. Здесь достаточно данных, чтобы видеть, что вначале, т. е. при первых размахах, идет быстрая убыль t, а потом она становится гораздо меньшею, что, в сущности, показывает неприложимость параболы 2-го порядка к выражению зависимости T от n. Совершенно такое же явление мы встретим далее, изучая изменение D. Вообще все то, что изменяет в том или ином смысле декремент, оказывается изменяющим и времена размахов t, так что при будущем изучении колебания весов необходимо совершенно связать изучение r с T и выводы о t с выводами о D; первые представляют интегральные величины, вторые — дифференциальные, и параллелизм их изменений должен служить не только для обладания взвешиваниями, но и для полноты сведений о колебаниях физических маятников. Надо поэтому полагать, что изучение обычных маятников, например применяемых для определения напряжения тяжести, много выиграет, если единовременно и точно будут наблюдаемы времена качаний и элонгации и установится между ними связь — по опыту. Хотя наши наблюдения относились в большинстве случаев исключительно к элонгациям (амплитудам, отклонениям и размахам), а времена наблюдались доныне лишь побочно, тем не менее считаю полезным привести все то остальное, что мы успели с самого начала сделать по отношению ко временам, излагая сперва отрывочные данные, полученные на весах Рупрехта, а затем некоторые более систематические наблюдения на весах Неметца.

6) Во всех предшествующих определениях, произведенных на весах Рупрехта, равно как и в тех, далее приводимых, которые имеют номера выше n° 869 (начиная с n° 869), чувствительность весов (чрез подъем центра тяжести) около 0.024 мг на 1 div. Но ранее того произведены были определения как D, так и T при меньшей чувствительности, а именно на 1 div. тогда приходилось около 0.032—0.033 мг. Эти-то определения мы теперь и рассмотрим, сопоставляя времена с декрементами.

n° 863. Весы Рупрехта. Навеска 1 г (из PtIr), 1 div. = = 0.032 мг. Вес литра воздуха $e = 1.212$. Наблюдалось 6 элонгаций.

R_1	$n =$ 1.5	3.5	5.5	Среднее t	D от — до	Среднее D
	$T =$					
50.55	0	56.6	113.0	28.25	1.0195—1.0149	1.0181
30.00	0	56.1	112.7	28.17	1.0192—1.0137	1.0156
44.95	0	56.2	112.8	28.20	1.0204—1.0138	1.0165
32.45	0	56.2	112.8	28.20	1.0217—1.0172	1.0198
74.05	0	56.2	112.8	28.20	1.0211—1.0175	1.0193
21.10	0	56.0	112.6	28.15	1.0197—1.0150	1.0180
			Среднее $t = 28.20$		Среднее $D = 1.0179$	

7) n° 864. Весы те же, но навескою служили медные фунты. 1 div. = 0.033 мг. Вес литра воздуха $e = 1.208$ г.

R_1	$n =$ 1.5	3.5	5.5	Среднее t	D от — до	Среднее D
	$T =$					
54.55	0	76.0	151.2	37.90	1.0235—1.0189	1.0205
46.8	0	76.0	153.0	38.12	1.0517—1.0179	1.0275
43.4	0	76.0	152.0	38.00	1.0236—1.0149	1.0184
52.6	0	76.2	152.0	38.00	1.0253—1.0144	1.0200
71.0	0	76.4	152.8	38.20	1.0335—1.0193	1.0237
67.5	0	76.8	153.4	38.37	1.0258—1.0178	1.0219
			Среднее $t = 38.1$		Среднее $D = 1.0220$	

При сличении с предшествующими средними ясно видно, что здесь *от увеличения нагрузки* чашек единовременно *возросли как время одного размаха, так и декремент*, притом время t возросло относительно больше, чем $(D—1)$, из чего можно думать, что некоторые из причин, изменяющих декремент, влияют еще более на времена размахов.

8) n° 865. Весы Рупрехта. Навеской служили латунные пластинки (9×4 дюйма $= 232$ см^2), положенные на чашки горизонтально для определения влияния площади, сопротивляющейся движению. К ним добавлялись гири, чтобы вес каждой из навесок был около 1 фунта (около 410 г). Вес литра воздуха при взвешивании: $e = 1.194$ г. Чувствительность: 1 div. $= 0.0330$ мг. В следующих номерах (866—870) навеска та же, и изменялись лишь некоторые условия взвешивания.

R_1	$n =$ 1.5	3.5	5.5	Среднее t	D от	до	Среднее D
	$T =$						
34.8	0	80.4	159.2	40.0	1.0296	1.0190	1.0244
83.15	0	80.2	160.4	40.1	1.0265	1.0253	1.0249
43.35	0	80.0	158.4	39.8	1.0273	1.0211	1.0255
38.6	0	79.6	159.2	39.8	1.0266	1.0165	1.0215
53.55	0	79.6	158.6	39.72	1.0268	1.0184	1.0235
69.4	0	79.2	159.4	39.72	1.0289	1.0227	1.0257
50.0	0	79.0	157.8	39.47	1.0246	1.0083	1.0194[1]
48.95	0	78.6	157.6	39.35	1.0257	1.0179	1.0224
			Среднее $t = 39.74$		Среднее $D = 1.0234$		

Время одного размаха t еще явно увеличилось, равно как и декремент D, но уже не от нагрузки, а от увеличенного сопротивления воздуха, хотя при этом плотность воздуха и уменьшилась противу той, какая была в двух предшествующих случаях. Притом она уменьшалась и в продолжение наблюдений, как видно и по тому, что вначале t было более среднего, а в конце — менее.[2]

[1] Явное уменьшение декремента в этом взвешивании объясняется тем, что пред ним не было арретирования, так как оно служило для определения чувствительности, а для этого г.г. Завадский и Сапожников выработали метод надевания на чашку весов добавочного груза (проволоки, согнутой известным образом) без остановки качаний, причем и могут совершаться явления, уменьшающие D, как увидим далее.

[2] Убежденный в том, что колебание широкой пластинки, поставленной поперек направления размахов (под влиянием тяжести, на уравни-

9) n° 866. Все обычные точные взвешивания, производимые за последнее время в Главной палате, ведутся при полном отсутствии наблюдателей в той центральной комнате, где помещаются весы и, конечно, при закрытых дверцах весового шкафа и при запертых дверях комнаты, так как наблюдения производятся (см. ч. I) из коридора. Но и при такой обстановке взвешиваний нередко замечаются в весах явные, хотя и малые толчки (§ 11), которые можно приписывать действию воздуха, сотрясаемого при порывах ветра, при отворе дверей в соседних помещениях и тому подобных влияний, передающиеся чрез щели в весы. Чтобы нагляднее убедиться в подобных влияниях, изменяющих декремент (и причисляемых далее к пертурбациям, или возмущениям, которые мы рассмотрим подробнее), вслед за вышеописанными наблюдениями дверцы весового шкафа весов Рупрехта были открыты, комната заперта и взвешивание велось, как и ранее. При этом получались явные возмущения в ходе всех колебаний, как видно по временам и декрементам. Но все же определение чувствительности дало на 1 div. 0.0339 мг, т. е. число, близкое к действительному. Более всего неправильностей замечается во временах размахов, а потому приводятся только те взвешивания, при которых они были наблюдены, как и ранее, при остальных же трех взвешиваниях записи времен или не делались вовсе, или были отрывочны.

R_1	$n=$ 1.5	3.5	5.5	Среднее t	D от — до	Среднее D
	$T=$					
74.65	0	75.4	151.8	37.8	1.2290—0.8775	1.0851
66.50	0	148.4	216.6	54.1	2.3368—0.5800	1.3751
74.70	0	91.6	168.4	42.1	1.1363—0.8893	1.0001
65.15	0	82.8	180.0	43.2	1.1655—0.9662	1.0777
12.30	0	74.0	121.2	43.7	1.4231—0.4643	0.9990
					Среднее = 1.1074	

Так как в предшествующем определении (n° 865) $t = 39.7$, то можно думать, что большинство пертурбационных влияний удлиняет время размахов, т. е. t увеличивает. Что же

тельном для температур стержне), может показывать плотность воздуха при наблюдении как времен размахов, так и их декремента, я составил проект такого прибора, но за недостатком времени еще не мог его осуществить.

касается до декремента, то он при подобных пертурбациях часто сильно уменьшается, становясь менее 1, или сильно возрастает. Это можно понимать как толчки в сторону противную или согласную с движением коромысла и чашек, чрез что размах или уменьшается, или возрастает противу нормы.

Полное наблюдение (8 взвешиваний) было повторено на другой день при вполне закрытых дверцах весов с тою же навескою (n° 867), и получились результаты совершенно такие же, как в n° 865 (среднее $t = 39.62$), а потому не считаю надобным приводить эти данные. Тогда же произведены были (n° 868) полные наблюдения с тою же навескою, а дверцы весов не были опущены до конца, так что осталась щель высотою около 2 мм. При этом условии ясных пертурбаций не было, среднее время t размаха вышло $= 39.62$. Это показывает, что небольшой доступ воздуха не препятствует нормальному ходу колебаний.

10) n° 869. После окончания описанных опытов, разъясняющих некоторые явления, происходящие при колебании весов, чувствительность весов была поднята примерно в полтора раза, и с весами в этом состоянии совершены не только некоторые из текущих взвешиваний, прямо относящихся к возобновлению прототипов, но и ряд наблюдений, далее описываемых, и тех, о которых упоминалось выше. Прежде же всего определены были, при той же навеске, как в n° 865 (пластинки в 232 см², весом в 1 фунт), все данные в 8 взвешиваниях; наблюда[лось] по 6 элонгаций, чтобы узнать, как зависят от чувствительности времена и декременты. Притом все это наблюдение (как n° 865) повторено двукратно в n°n° 869 и 870, из которых первый приводится подробно, чтобы показать весь ход явления. Сперва приводятся элонгации:

Время 1897 XII 19	Навеска	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	l_6	Наблюдатель (n° 869)
12.00 h	AB	158.60	139.3	158.0	139.8	157.35	140.25	Ф. П. Завадский
	AB	156.0	141.75	155.4	142.15	155.0	142.45	
	$AB + r_1$	228.8	156.3	226.7	158.55	224.7	160.7	
12.72 h	AB	166.7	132.6	165.7	133.45	164.75	134.25	
12.80 h	AB	173.4	121.5	171.5	123.10	170.15	124.3	В. Д. Сапожников
	AB	158.1	139.05	157.55	139.55	157.0	140.0	
	$AB + r_1$	223.5	160.05	221.6	162.1	219.7	164.05	
1.17 h	AB	170.25	128.3	168 95	129.4	167.75	130.4	
Суммы Σl_n		1435.35	1118.85	1425.40	1128.10	1416.40	1136.40	

$\Sigma L = 1274.47$, $r_1 = 1.03059$ мг, а потому 1 div. $= 0.0240$.
Вес литра воздуха $e = 1.200$.

По значениям разностей между ΣL и Σl_i получаем

$$\Sigma r_n = 160.88,\ 155.62,\ 150.93,\ 146.37,\ 141.93,\ 138.07.$$

Отсюда находится 5 декрементов, постепенно уменьшающихся:

$$1.03380,\ 1.03107,\ 1.03115,\ 1.03128,\ 1.02796.$$

Общий средний декремент

$$D = 1.03105.$$

Сравнивая с n° 865 (все то же, но чувствительность меньшая), видим, что *декремент увеличился с возрастанием чувствительности*. То же происходит с временем t одного размаха, так как всякие обстоятельства, изменяющие D, влияют и на t, и обратно. При указанных взвешиваниях определение времен дало в среднем из 8 определений:

при	$n = 1.5$	3.5	5.5
	$T = 0$	92.15	184.65

Отсюда среднее время одного размаха, при указанных условиях, $t = 46.1$ секунды, что гораздо более, чем при меньшей чувствительности.

11) В n° 870 (также 19 декабря 1897 г.) повторено еще раз с теми же пластинками все полное взвешивание, и я считаю достаточным дать вывод, относящийся до общих средних:

$$t = 46.32 \text{ и } D = 1.03367,$$

и заметить, что 1 div. = 0.02396 мг. Небольшое, здесь происшедшее увеличение как в t, так и в D зависит, без сомнения, не только от того, что чувствительность стала немного большею, но и от того, что плотность воздуха немного возросла после окончания предшествующих наблюдений. Все это ясно указывает, что изменения t и D идут совместно и друг другу параллельно.

12) Для более твердого суждения о влиянии чувствительности весов на t и D были произведены полные наблюдения n° 871 и n° 872 с навеской в 1 фунт медный, как в n° 864, и затем n° 873 с навеской в 1 г из Ptlr, как в n° 863 (см. выше 6 и 7). Здесь мы приводим средние результаты (получены как для n° 869) для взвешивания медных фунтов.

n° 871. Весы Рупрехта, навеска — медные фунты, 1 div. = = 0.0237 мг. Среднее время $t = 44.68$ сек., средний декремент $D = 1.02365$.

n° 872. Навеска и чувствительность те же, и опять из 8 взвешиваний в среднем получились $t = 44.68$ сек. и $D = 1.02423$. Как D, так и t здесь меньше, чем для пластинки равного веса, но больше, чем в n° 864, когда взвешивались те же фунты, но чувствительность была меньше (1 div. = = 0.033 мг).

13) В n° 873 взвешивался 1 г из иридистой платины (на обеих чашках весов), 1 div. = 0.0224; средний декремент по «сокращенному» способу получился = 1.02181, т. е. больше, чем в n° 863, когда чувствительность была меньше, чем D при взвешивании фунтов, как это получено и ранее при меньшей чувствительности. Среднее время одного размаха t оказалось равным 33.62 сек., т. е. опять больше, чем в n° 863, но много меньше, чем для фунтов, что опять оправдывает заключение о тесной связи изменений D и t.

14) Когда затем на весах Рупрехта сличался фунт из горного хрусталя с платино-иридиевым два раза, под конец взвешиваний наблюдалось по 6 элонгаций и соответственные времена. Отсюда получаются следующие средние:

n°	R_1	1 div.	Среднее t	Среднее D
875	62.95	0.0230	46.45	1.02543
879	91.15	0.0228	45.95	1.02834

что и отвечает в пределе возможных погрешностей предшествующим данным и тем, которые даны выше (2) под n° 877.

15) Вскоре после того, как произведены были вышеуказанные наблюдения и взвешивания на весах Рупрехта, мы перешли по разным причинам, далее выясняемым, к весам Неметца и Шульца, причем попутно на них сделано было несколько отрывочных определений времен колебания. Для примера привожу для весов Шульца следующее цельное наблюдение, при котором навеска состояла из вышеупомянутых медных фунтов и 1 div. = 0.0325 мг.

$n =$	1	1.5	2		3	3.5	4		5	5.5	6
$l =$	143.25	—	85.7		138.6	—	89.8		134.85	—	93.25
$T =$	—	0	—		—	97.6	—		—	195.0	—

$L = 113.23$

Отсюда среднее $t=43.75$ сек. и среднее $D=1.0845$. Для доказательства того, что декремент здесь, хотя и убывает при возрастании n, велик и более, чем в других весах такой же чувствительности, прибавим еще 5 наблюденных элонгаций и им отвечающий декремент, полученный по R:

$n=$	7	8	9	10	11
$l=$	131.6	96.35	129.0	98.9	126.9
$D=$		1.0879	1.0772	1.0847	1.0775

Причину большего декремента, а потому и сравнительно (по чувствительности) большего t должно искать в устройстве этих весов, так как в них плоскость чашек велика, а коромысло и зеркало качаются в почти замкнутом небольшом пространстве, что должно потушать колебания и увеличивать времена размахов.

16) С весами Неметца (описание их помещено в одной из следующих глав этой части), кроме особых опытов, далее описываемых, было произведено несколько наблюдений над временами 6 элонгаций. В n° 895, когда взвешивались платино-иридиевые фунты, когда 1 div. $=0.0498$ мг и $e=1.200$, среднее t было $=34.1$ сек. и среднее $D=1.0405$, при $R_1=$ $=37.45$ div. После взвешиваний n° 916 тех же фунтов, ради опыта, было произведено наблюдение в то время, когда наружные двери здания Главной палаты то открывались, то запирались, для определения влияния происходящих при сем движений воздуха на правильность взвешивания (влияния не замечается), наблюдено было несколько элонгаций и записано время 6 элонгаций, как первых, хотя они следовали за 4 первыми, причем получено: среднее $t=31.0$, средний $D=1.0404$ при $R_5=43.7$ div. и 1 div. $=0.0535$. Если время и декремент вышли немного меньше, чем в n° 895 (и то в пределе возможных погрешностей), то лишь потому, вероятно, что плотность воздуха была меньше и чувствительность слабее.

17) Для выяснения меры участия воздуха в определении изменений времени размаха t[1] весы Неметца доставляют то удобство, что закрываются стеклянным колоколом, под ко-

[1] Равно как и декремента, но данные до него и вообще до элонгаций, здесь наблюденных, рассматриваются далее более подробно, а потому здесь не приводятся, так как здесь я соединяю все данные, собранные для времен колебания, при помощи секундных хронографных часов.

торым можно производить разрежение воздушным насосом.[1] Определения п° 917 произведены в воздухе под обыкновенным давлением ($H_0 = 755.4$ мм) и при открытых кранах:

$R_1 = 95.75$ div.; $n =$	1.5	3.5	5.5	45.5	47.5	49.5
$T =$	0	62.8	125.6	1362.4	1423.6	1484.0 сек.
Время размаха, $t =$	31.4	31.4	30.92	30.6	30.2	(п° **917**)

Затем, тотчас же после конца этого наблюдения, краны были закрыты, и опять наблюдалось 50 элонгаций и времена между теми же n:

$R_1 = 91.6$; $T =$	0	62.8	125.4	1365.9	1427.7	1490.9(?) сек.
$t =$	31.4	31.3	31.01	30.9	31.6(?)	(п°**918**)

В одном из дальнейших взвешиваний воздух из-под колокола весов был накануне выкачан, на другой день произведено взвешивание, и после него, когда упругость воздуха под колоколом H_0 была $= 148.5$ мм, наблюдено было опять 50 элонгаций (наблюдал Ф. П. Завадский) и получено, при тех же n:

$R_1 = 120.45$; $T =$	0	63.6	124.2	1357.6	1418.4	1480.0 сек.
$t =$	31.8	30.3	30.83	30.4	30.8	(п°**921**)

Хотя там, где промежуток велик (от $n = 5.5$ до $n = 45.5$), при разрежении получилось время t меньше, чем под обыкновенным давлением, и хотя вообще T вышли для разреженного воздуха меньше, чем для неразреженного, но разности оказались довольно малы, и определения в некоторых отношениях сомнительны, а потому было решено произвести все подобное сравнение при обстановке более точной и наблюсти, по возможности, много времен, что и будет описано в одном (13-м) из следующих параграфов, когда станем ближе рассматривать отношение между изменениями T и t или r и D. По этой же причине я едва остановлюсь на данных п° 922, когда воздух так же был разрежен, как в п°п° 921 и 923, но времена наблюдены были только при:

$$n = 45.5 \quad 47.5 \text{ и } 49.5$$

и получилось

$$T = 0 \quad 60.8 \text{ и } 120.8 \quad R_{45} = 17.55.$$

---

[1] Этот раз колокол держал не совершенно плотно, и мы довольствовались водяным насосом.

А в п° 923 при

$R_1 = 30.15$; $n = 1.5$ 3.5 5.5 35.5 37.5 39.5

получилось

$T = 0$ 60.4 121.5 1023.8 1083.4 1143.6,

а потому

$t =$ 30.2 30.55 30.08 29.8 30.1.

Хотя и здесь видна убыль t по мере увеличения n, но можно было думать, что погрешность в отсчете времен велика, а потому дальнейшие, хотя все же немногие, наблюдения сделаны были при помощи самопишущего хронографа Марея, отчет о чем излагается в одном из следующих параграфов (§ 13).

Таким образом, первая разведка относительно времен размаха весов показала с полною очевидностью, что:

1) Размахи весов не изохронны.[1]

2) Они убывают сперва довольно быстро, а потом медленнее, но все же, повидимому, непрерывно убывают, и эта убыль более ожидаемой по теории для математического маятника.

3) Времена размахов находятся в тесной связи с декрементами, и, следовательно, законы колебания весов должны относиться как к изменению декремента, так и к изменению времен размахов.

4) Убыль декремента и времен размахов, очевидная — хотя все же малая — в весах, вероятно, существует и в обычных физических маятниках, но по малости величины не замечалась, а должна влиять на точность наблюдений, например, при определении напряжения тяжести — маятником.[2]

---

[1] Д-р Тизен (Thiesen) в V томе «Travaux et Mémoires du Bureau International des poids et mesures» (1886, стр. 32) уже определил убыль времен одного размаха весов в длинном ряде колебаний (§ 20). Мой друг, проф. Н. Г. Егоров, указал мне сверх того, что подобная же убыль времен [одного размаха весов] была замечена Меркадье (Mercadier) еще в 1876 г. (Séances de la Soc. Française de Physique, année 1876, стр. 50) при исследовании колебания камертонов значительной величины. Убыль времен размаха видна и в некоторых наблюдениях над маятниками. Но исторически и теоретически важный принцип изохронизма настолько влияет на умы, что до сих пор все это оставляется без внимания. Поэтому-то я и предполагаю после весов обратиться к маятникам.

[2] Хотя мне известна вся трудность наблюдений этого рода для маятников, но я подготовляю их производство и полагаю, что опытное решение вопроса может быть достигнуто путем, намеченным мною. По трудности и новости такой задачи я делаю здесь заявление своего приоритета.

§ 8. Времена размахов весов составляли только побочную часть исследований, предпринятых для изучения колебаний весов и наблюдались преимущественно по той причине, что исследование декрементов показало их убыль, по мере убыли самих размахов, что уже заставляло ожидать и убыли времен колебаний. Поэтому в дальнейшем изложении этой главы главным предметом исследования служат декременты. Все расчеты ведутся по n или по числу наблюденных элонгаций. Этот прием упрощает исследование, а когда зависимость времен T от числа размахов n будет установлена, может быть найдена прямая зависимость между отклонениями r, декрементами и временами.

Важнейшее обстоятельство, бросающееся в глаза как при самих взвешиваниях, так и при рассмотрении отчетов о них или записей элонгаций, заставившее меня обратиться к подробному изучению декрементов, состоит в том, что вначале, после предоставления весам свободных колебаний и прекращения действия арретира, «начальные» колебания убывают гораздо быстрее всех последующих, т. е. их декремент явно превосходит все декременты дальнейших размахов. Я склонялся сперва видеть первую причину этого в упругом сгибании (и некотором колебании) коромысла, медленно поддающегося действию нагрузки, и в деформации (сдавливании) ножей, зависящей от того же. Декремент, без сомнения, зависит от сопротивлений всякого рода, а именно прежде всего от трения ножей о подставки и от сопротивления среды, так как работа этих сопротивлений противодействует работе тяжести и инерции, производящих колебания. При сгибании происходит своего рода трение, перемещается центр тяжести и изменяется момент инерции, а потому сгибание может действовать, пока продолжается, как своего рода сопротивление. Как некоторое подтверждение такому соображению служит то обстоятельство, что при малых нагрузках декремент первых размахов как будто менее отличается от декремента следующих качаний, чем при взвешивании больших грузов; но так как при этом изменяется и давление ножей на подставки, то прямой доказательности в указанном соображении не содержится.

Яснее всего выступает то обстоятельство, что самые первые размахи дают в норме декремент гораздо больший, чем следующие затем размахи, даже ближайшие — при расчете декремента из 4 элонгаций, обычно наблюдаемых при взвешиваниях, как это описано в §§ 2 и 5. Достаточно одного взгляда на многочисленные D_1 и D_2, рассчитанные (по

способу А) для взвешиваний n° n° 378—410. Общие средние для:

		D_1	D_2
137 взвешиваний n°n°	**378—394**	1.02809	1.01945
129 » n°n°	**396—410**	1.02521	1.01979 [1]

Общее среднее из 266 взвешиваний дает $D_1 = 1.0267$ и $D_2 = 1.0195$; отношение их тем примечательнее, что D_1 отвечает $n = 2$, а D_2 соответствует $n = 3$. То же различие повторяется в среднем из многих взвешиваний, сколько их ни брать.

Убедившись в том, что *начальный* (после опускания весов с арретира) *декремент более следующих за ним*, я желал собрать данные для меры изменения декремента по мере увеличения n, а потому г. г. Завадский и Сапожников произвели (попутно, при текущих взвешиваниях) в 1895 г. 8 рядов наблюдений, далее вполне приводимых, определяя каждый раз по 20 элонгаций, причем начальные размахи брались такие, какие встречаются при обычных взвешиваниях. При этом нельзя было идти далее $n = 20$, потому что тогда получились бы очень малые размахи и точность определений декрементов значительно бы понизилась.

Из 8 тогда сделанных наблюдений четыре первых произведены на весах Рупрехта, но чувствительность (1 div. = = 0.047 мг) была тогда иная, чем в большинстве позднейших определений. Четыре последних из далее приводимых наблюдений произведены на весах Неметца, 1 div. = 0.037. Навескою во всех случаях служил платино-иридиевый русский фунт = 409.2 г на подставке горного хрусталя.

Так как начальный размах в последнем из приведенных наблюдений [стр. 454] более, чем во всех прочих, то и точность декремента здесь наибольшая. А поэтому эти данные разочтены затем полнее (см. сл. таблицу, стр. 455), а именно найдены равновесия (из 5 элонгаций) и отклонения r; разность их логарифма дает $\log D$, который и приведен в 5-м столбце. В 6-м дано среднее логарифма первых и последних данных и дан соответствующий декремент, чтобы показать, что вычисление отклонений r дает почти тождественные D с теми, какие получаются при расчете размахов R. Сверх того, по способу наименьших квадратов здесь разочтено и все изменение $\log r$, причем получилось выражение:

$$\log r = 1.56093 - 0.022395\, n + 0.0000706\, n^2.$$

[1] Подобные же различия D_1 и D_2 получаются по способу (В) из сумм элонгаций.

1) Из п° 127, наблюдатель Завадский.

Весы Рупрехта. L от 104.875 до 104.600 div.

Элонгации	Размахи	Декременты			
96.2					
113.3	17.10	1.0332			
96.75	16.55	1.0409	1.0344		
112.65	15.90	1.0291			
97.2	15.45	1.0404			
112.05	14.85	1.0348	1.0383	1.0354	
97.7	14.35	1.0398			
111.5	13.80	1.0298			
98.1	13.40	1.0347	1.0335		
111.05	12.95	1.0360			
98.55	12.50	1.0373			
110.6	12.05	1.0343	1.0357		1.0350±0.0008
98.95	11.65	1.0355		1.0346	
110.2	11.25	1.0227			
99.2	11.00	1.0377	1.0332		
109.8	10.60	1.0392			
99.6	10.20	1.0408			
109.4	9.80	1.0370	1.0350		
99.95	9.45	1.0272			
109.15	9.20				

2) Из n° 127. Наблюдатель Завадский.

Весы Рупрехта. L от 125.944 до 125.981 div.

Элонгации	Размахи	Декременты			
115.80					
135.60	19.80	1.04484			
116.65	18.95	1.03270	1.03615		
135.00	18.35	1.03090			
117.20	17.80	1.03790			
134.35	17.15	1.03939	1.03511	1.03484	
117.85	16.50	1.02804			
133.90	16.05	1.02885			
118.30	15.60	1.03654	1.03325		1.03320±0.00081
133.35	15.05	1.03436			
118.80	14.55	1.02827			
132.95	14.15	1.03285	1.03300	1.03157	
119.25	13.70	1.03788			
132.45	13.20	1.03529			
119.70	12.75	1.02823	1.02944		
132.10	12.40	1.02479			
120.00	12.10	1.02979			
131.75	11.75	1.03524	1.03228		
120.40	11.35	1.03182			
131.40	11.00				

3) Из n° 128. Наблюдатель Сапожников.
Весы Рупрехта. L от 126.144 до 126.300 div.

Элонгации	Размахи	Декременты			
135.65					
	18.70				
116.95		1.03601			
	18.05				
135.00		1.04035	1.03739		
	17.35				
117.65		1.03582			
	16.75				
134.40		1.03395			
	16.20				
118.20		1.02532	1.03065		
	15.80				
134.00		1.03268			
	15.30				
118.70		1.03030			
	14.85				
133.55		1.03484	1.03500		
	14.35				
119.20		1.03986			
	13.80				
133.00		1.03759			
	13.30				
119.70		1.01916	1.02810		
	13.05				
132.75		1.02756			
	12.70				
120.05		1.04098			
	12.20				
132.25		1.02954	1.03216		
	11.85				
120.40		1.02597			
	11.55				
131.95		1.03587			
	11.15				
120.80		1.02765	1.03065		
	10.85				
131.65		1.02844			
	10.55				
121.10					

1.03435

1.03030

1.03233±0.00095

4) Из n° 128. Наблюдатель Сапожников.
Весы Рупрехта. L от 105.106 до 104.925 div.

Элонгации	Размахи	Декременты			
92.0					
117.7	25.7	1.0363			
92.9	24.8	1.0398	1.0369		
116.75	23.85	1.0347			
93.7	23.05	1.0360		1.0353	
115.95	22.25	1.0373	1.0373		
94.5	21.45	1.0387			
115.15	20.65	1.0299			1.0349±0.0005
95.1	20.05	1.0335	1.0318		
114.5	19.4	1.0319			
95.7	18.8	1.0358			
113.85	18.15	1.0342	1.0351		
96.3	17.55	1.0354			
113.25	16.95	1.0367		1.0345	
96.9	16.35	1.0315	1.0325		
112.75	15.85	1.0292			
97.35	15.40	1.0370			
112.2	14.85	1.0384	1.0360		
97.9	14.3	1.0325			
111.75	13.85				

5) Из n° 159. Наблюдатель Завадский.
Весы Неметца. L при начале 185.169 и при конце взвешивания также 185.169, а в средине 184.90 div.

Элонгации	Размахи	Декременты			
196.50					
174.55	21.95	1.05783			
195.30	20.75	1.03750	1.04932		
175.30	20.00	1.05263			
194.3	19.00	1.03261			
175.9	18.40	1.03662	1.03984	1.04559	
193.65	17.75	1.05030			
176.75	16.90	1.05296			
192.80	16.05	1.04221	1.04760		
177.40	15.40	1.04762			
192.10	14.70	1.03521			
177.90	14.20	1.02899	1.03263		1.04131±0.00146
191.70	13.80	1.03371			
178.35	13.35	1.05118			
191.05	12.70	1.03673	1.03767	1.03702	
178.80	12.25	1.02510			
190.75	11.95	1.03913			
179.25	11.50	1.04545	1.04077		
190.25	11.00	1.03774			
179.65	10.60				

6) Из п° 169. Наблюдатель Завадский.

Весы Неметца. L от 209.250 до 209.463 div.

Элонгации	Размахи	Декременты			
219.90					
199.20	20.70	1.05612			
218.80	19.60	1.04813	1.04965		
200.10	18.70	1.04469			
218.0	17.90	1.04985			
200.95	17.05	1.04601	1.04803	1.04485	
217.25	16.30	1.04823			
201.70	15.55	1.04013			
216.65	14.95	1.03819	1.03686		
202.25	14.40	1.03226			
216.20	13.95	1.03717			
202.75	13.45	1.03462	1.03866		1.04128±0.00122
215.75	13.00	1.04418			
203.30	12.45	1.04184			
215.25	11.95	1.03463	1.03438	1.03771	
203.70	11.55	1.02667			
214.95	11.25	1.05140			
204.25	10.70	1.04390	1.04010		
214.50	10.25	1.02500			
204.50	10.00				

7) Из n° 153. Наблюдатель Сапожников.
Весы Неметца. L от 186.744 до 186.550 div.

Элонгации	Размахи	Декременты			
175.00					
198.00	23.00	1.04545			
176.00	22.00	1.05012	1.04682		
196.95	20.95	1.04489			
176.90	20.05	1.04974			
196.00	19.10	1.04087	1.04342	1.04298	
177.65	18.35	1.03966			
195.30	17.65	1.03216			
178.20	17.10	1.03951	1.03870		
194.65	16.45	1.04444			
178.90	15.75	1.04305			
194.00	15.10	1.03972	1.03637		1.04004±0.00102
179.35	14.65	1.03534			
193.50	14.15	1.04044			
179.90	13.60	1.03816	1.03535	1.03709	
193.00	13.10	1.02745			
180.25	12.75	1.03239			
192.60	12.35	1.04219	1.03954		
180.75	11.85	1.04405			
192.10	11.35				

8) Из n° 163. Наблюдатель Сапожников.
Весы Неметца. L от 157.775 до 156.959 div.

Элонгации	Размахи	Декременты			
123.05					
191.0	67.95	1.05023			
126.3	64.70	1.06152	1.05330		
187.25	60.95	1.04815			
129.1	58.15	1.05344			
184.3	55.20	1.04943	1.04988	1.04962	
131.7	52.60	1.04677			
181.95	50.25	1.04363			
133.8	48.15	1.04902	1.04567		1.04638±0.00084
179.7	45.90	1.04437			
135.75	43.95	1.04518			
177.8	42.05	1.04342	1.04512		
137.5	40.30	1.04675			
176.0	38.50	1.04054		1.04315	
139.0	37.00	1.04667	1.04282		
174.35	35.35	1.04124			
140.4	33.95	1.04140			
173.0	32.60	1.04320	1.04151		
141.75	31.25	1.03993			
171.8	30.05				

Значения r, отвечающие этой формуле, даны в столбце 9-м, а вслед за тем указана Δ разность разочтенных r от выведенных наблюдений, чтобы показать, что при 20 размахах $\log r$ с достаточною точностью выражается параболою 2-го порядка, но не прямою, что было бы тогда, когда декремент был бы постоянен. На основании приведенной формулы, так как логарифм декремента есть производная логарифма r (или R) с противным знаком,[1] получаем для него следующее выражение:

$$\log D = 0.022395 - 0.0001412\, n.$$

Оно ясно показывает, как и все предшествующее, что *декремент по мере качаний (или с возрастанием n) постепенно падает:*

n	l_n	Равновесия L	r (по 163)	$\log D$	
1	123.05				
2	191.00				
3	126.30	157.68	31.38	0.02346	Средний $\log D$ = 0.02080, D_1 = 1.04906
4	187.25	157.52	29.73	2048	
5	129.10	157.46	28.36	2280	
6	184.30	157.39	26.91	2031	
7	131.70	157.38	25.68	1884	
8	181.95	157.36	24.59	1969	
9	133.80	157.30	23.50	2005	
10	179.70	157.26	22.44		
11	135.75	157.24	21.49		
12	177.80	157.22	20.58	1878	Средний $\log D$ = 0.01861, D_2 = 1.04380
13	137.50	157.18	19.68	1879	
14	176.00	157.14	18.86	1942	
15	139.00	157.08	18.08	1849	
16	174.35	157.04	17.31	1834	
17	140.40	157.04	16.64	1890	
18	173.00	157.05	15.95	1715	
19	141.75			0.01839	
20	171.80				

[1] Производная показывает приращение функции при *возрастании* переменной, а log декремента показывает приращение функции логарифма при *уменьшении* переменной (так как $\log D = \log r_n - \log r_{n+1}$), а не обратно; поэтому *логарифм декремента есть производная от логарифма r, с противным знаком.*

Продолжение

n	log r	log r регул.	r регул.	$\frac{r_н - r_{регул.}}{\Delta}$
1				
2				
3	1.4967	1.49502	31.26	+0.12
4	4732	47361	29.76	—0.03
5	4527	45249	28.35	+0.01
6	4299	43164	27.02	—0.11
7	4096	41108	25.77	—0.09
8	3908	39081	24.59	0
9	3711	37081	23.49	+0.01
10	3510	35100	22.44	0
11	3322	33167	21.46	+0.03
12	3134	31252	20.54	+0.04
13	2940	29366	19.66	+0.02
14	2755	27507	18.84	+0.02
15	2572	25677	18.06	+0.02
16	2383	23876	17.33	—0.02
17	2212	22102	16.64	0
18	2028	20357	15.98	—0.03
19				
20				

$\log r = 1.34135 - 0.009715\,(2n-21) + 0.0000353\,(2n-21)^2$

$\log r = 1.56093 - 0.022395\,n + 0.000071\,n^2$

Располагая полученные выше результаты по величинам первых размахов для весов Рупрехта, получаем:

	R_1	Для первых колебаний D_1	Для последних колебаний D_2	Средний декремент
1)	17.1	1.0354	1.0346	1.0350±0.0008
3)	18.7	1.0343	1.0303	1.0323±0.0009
2)	19.8	1.0348	1.0316	1.0332±0.0008
4)	25.7	1.0353	1.0345	1.0349±0.0005
	Среднее	1.0349	1.0328	1.0338±0.0007

а для весов Неметца:

6)	20.7	1.0448	1.0377	1.0413±0.0012
5)	21.9	1.0456	1.0370	1.0413±0.0015
7)	23.0	1.0430	1.0371	1.0400±0.0010
8)	67.9	1.0496	1.0431	1.0464±0.0008
	Среднее	1.0457	1.0387	1.0422±0.0011

Отсюда очевидно, что вначале средний декремент всегда больше, чем в конце, и что разность не только постоянно видна, но и превосходит вероятную погрешность среднего.

Этот вывод по его особенности и полной доказанности послужил поводом ко всему предпринятому затем исследованию изменений декремента от разных обстоятельств, а особенно от величины размаха.

§ 9. [После того, как] получилось полное убеждение в том, что начальный декремент выше следующих за ним, явилась надобность выяснить три возникших вопроса: 1) зависят ли начальный и последующие декременты от величины размаха или нет? 2) Продолжается ли падение декремента беспредельно, при многих друг за другом следующих размахах, или затем прекращается, и декремент стремится к постоянству? 3) Когда размахи приближаются к нулю, какой должно приписывать им декремент? Предполагать, что при уменьшении размахов декремент стремится в пределе к единице, a priori, допустить невозможно.

Решение этих вопросов, а особенно двух последних, представило много трудностей и составляет центр исследования и предмет ближайших параграфов.

Что касается до первого вопроса, то в § 6, где разобраны данные п° п° 378—410, имеется материал, позволяющий его решить, так как 266 взвешиваний распределены по величине первого из наблюденных размахов. Только предварительно необходимо обратить внимание на данные группы IV (куда отнесены взвешивания с R_1 более 50 div.), потому что они в большинстве случаев получались при особых условиях, а именно чаще всего при наложении добавочного груза, назначаемого для определения чувствительности или значения 1 div. в миллиграммах. Дело в том, что этот груз (весом около 1 мг в виде проволоки, надеваемой на чашку весов) накладывался и снимался при взвешивании без арретировки весов, что введено в практику Ф. П. Завадским и В. Д. Сапожниковым для получения лучших результатов и для сокращения времени. При таком способе наложения, во-первых, часто происходили размахи большего размера, чем обыкновенные, и, во-вторых, эти размахи (и следующие за ними, после снятия добавочного груза) нельзя уже считать «начальными».

После этой оговорки сопоставим выводы из п° п° 378—410, по группам (§ 6), взяв лишь средние декременты групп:

	Группы											
	I			II			III			IV		
	R_1 div.	число данных	D_A	R_1 div.	число данных	D_A	R_1 div.	число данных	D_A	R_1 div.	число данных	D_A
n°n° **378—394**	11.0	37	1.02475	27.7	41	1.02311	42.6	32	1.02357	60.0	27	1.02197
n°n° **395—410**	14.6	31	1.02224	27.7	41	1.02240	42.6	40	1.02332	60.0	17	1.02156
Среднее n°n° **378—410**			1.0235			1.0228			1.0234			1.0217

Так как погрешность в 1 группе больше, чем в следующих, а IV группа в большинстве данных заключает, как сказано выше, не «начальные» размахи, то остаются для суждений лишь две средние группы с размахами в 27.7 и 42.6 div. Для них выходит, что чем более размах, тем более и «начальный» декремент. Но так как этот вывод не оправдывается над всеми группами, а разность средних D для II и III групп мала и близка к погрешностям, возможным и вероятным в декрементах, то такой вывод желательно было подтвердить с большею несомненностью. Для этой цели я считал недостаточным ограничиться умножением числа разочтенных взвешиваний, взятых из данных IV части,[1] и предпочел произвести особые определения, содержащие наблюдение многих друг за другом следующих размахов, так как такие определения должны дать материал для выяснения многих других сторон, относящихся к колебаниям весов. Наблюдения этого рода производились преимущественно Ф. П. Завадским и В. Д. Сапожниковым и приводятся в следующих параграфах в виде таблиц, в которых даны не только непосредственные отсчеты элонгаций, но и вывод декремента, разочтенного из сглаженных (регулированных) данных для отклонений r, причем даются как величины равновесий L, так и способ, примененный для регулирования. Для регулирования наблюденных данных применялось два способа: или параболическое сглаживание (по

[1] Тем более, что, судя по качеству вопроса, желательно было производить все расчеты по способу (А), а он очень утомителен, и ошибки, возможные в расчете, требуют повторительной проверки, что берет чересчур много времени.

Скиапарелли или Клейберу), или интерполирование по способу наименьших квадратов (по приемам Чебышева и тому их видоизменению, которое подробно изложено в приложении первом к этой главе), смотря по требованиям дела и разным обстоятельствам. Параболическое сглаживание применено почти исключительно к среднему из 7 друг за другом следующих отклонений, которые относятся к $n-3$, $n-2$, $n-1$, n, $n+1$, $n+2$ и $n+3$ элонгациям. Сглаженное значение (отклонения, логарифма его, размаха или иного данного среднего) Y_n найдется из этих 7 данных, как известно, по формуле:

$$Y_n = \frac{1}{21}[7Y_{n_0} + 6(Y_{n+1} + Y_{n-1}) + 3(Y_{n+2} + Y_{n-2}) - 2(Y_{n+3} + Y_{n-3})].$$

Для ясности привожу два примера из наблюдений n° 883 (они даны в § 10), один — из первых отклонений r, другой — для нечетных элонгаций.

1) Дано прямо из наблюдений:

$n=$	5	6	7	8	9	10	11	
$r=$	76.58	74.52	72.67	70.94	69.15	67.49	65.94	div.

Сглаженное значение r_8 получится по предшествующей формуле:

$$r_8 = \frac{1}{21}(496.58 + 850.92 + 426.03 - 285.04) = 70.88 \text{ div.}$$

вместо 70.94, полученных по наблюдению. Разность (0.06 div.) находится в пределе суммы возможных погрешностей от отсчета элонгаций и от расчета равновесий, служащих для вывода каждого отклонения, и сглаженное число достовернее выводимого прямо из опыта.[1]

2) Даны в наблюдениях:

l_1	l_3	l_5	l_7	l_9	l_{11}	l_{13}	
266.0	261.3	257.0	253.05	249.5	246.35	243.3	div.

Откуда получаем сглаженное

$$l_7 = 253.08 \text{ div.},$$

[1] Интерполирование 11-ти r (например от $n=3$ до $n=13$) дает r_8 значение 70.88, совпадающее с полученным при сглаживании по 7.

которое оказывается почти тождественным с наблюденным числом.[1]

Параболическое сглаживание опытных данных может быть применяемо только для небольшого их ряда, а именно для 7, много что для 11 рядом стоящих данных (при равных разностях переменной, здесь n), потому что при большем числе данных, например при 20 или 30, парабола 2-го порядка неприложима для размахов или отклонений в пределе нашей точности отсчетов. Но попытки разного рода показали, что для 11, даже 15, а при малых размахах даже для 25 последовательных данных парабола 2-го, а еще лучше парабола 3-го порядка хорошо приложима к интерполированию по способу наименьших квадратов логарифмов или реципроков (обратных чисел, например $\frac{1}{r}$) отклонений и размахов, хотя при малом числе (до 7—11 данных) получаются почти тождественные данные (разность менее ± 0.05 div.) при параболическом сглаживании и при интерполировании как самих данных r, так и их логарифмов или реципроков. Так, например, взяв данныя из n° 885 от $n=3$ до $n=13$, для логарифмов имеем

$$\log r_n = 1.30998 - 0.009778\,(n-8) + 0.000187\,(n-8)^2,$$

откуда при $n=8$ имеем: $r_8=20.41$. Для реципроков получается

$$\frac{10^5}{r_n} = 4898.1 + 109.53\,(n-8) - 0.91\,(n-8)^2,$$

откуда $r_8=20.42$. Взяв же самые отклонения r, опять по способу наименьших квадратов для тех же данных, получаем

$$r_n = 20.417 - 0.4638\,(n-8) + 0.01401\,(n-8)^2,$$

что дает для r_8 опять 20.42, т. е. то же число, что и расчеты по $\log r$ и $\frac{1}{r}$. Такое согласие зависит, конечно, от сравнительной малости изгиба кривых в пределе от $n=3$ до $n=13$ и не повторяется при более широких пределах,

---

[1] Сделав такой же расчет для l_8, получаем 109.51 вместо 109.40, найденных при наблюдении; разность уже $=0.11$ div., что едва ли не превосходит возможную погрешность отсчета и определяется «пертурбациею», замеченною и в соседних данных, о чем говорится в § 11.

показывая в то же время, что сглаживание, произведенное по указанному способу, действительно, так как по наблюдению $r_8 = 20.21$.[1] В норме же, как видно и по многим примерам следующих параграфов, сглаженные числа r разнятся от наблюденных менее чем на ± 0.10 div., причем я считаю, что ± 0.07 div. приходится на погрешность отсчета элонгаций l, а ± 0.03 на погрешность в определении равновесия L, что должно быть не упускаемо из виду при рассмотрении отклонений r, так как они находятся из разности между l и L. Для большей ясности считаю не излишним привести разбор одного примера из многих сотен подобных же случаев, встречавшихся в дальнейшем исследовании.

В наблюдениях n° 918 (они целиком приводятся далее) получено:

$n =$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$r =$	42.46	40.47	38.61	36.81	35.06	33.50	32.10	30.80	29.53	28.36	27.19

Интерполирование первых данных дает для них ($n = 3$—7):

$$r_n = 48.632 - 2.152\, n + 0.0300\, n^2 \pm 0.015 \text{ div.}$$

Так, для $n = 5$ по формуле получаем $r_5 = 38.62$, что представляет разность от наблюдения лишь $= -0.01$ div. Но такую формулу уже нельзя применить для экстраполирований, хотя бы недалеких, например для $n = 10$, так как (по формуле $r_{10} = 30.11$, наблюдение: 30.80) тогда разочтенное значение будет разниться от наблюденного более, чем на величину возможных погрешностей. Данные от $n = 6$ до $n = 13$ при сглаживании по 7 дают $r_{10} = 30.78$, что разнится от опыта только на $+0.02$ и представляет вероятность бо́льшую, чем опыт. Если возьмем теперь логарифмы r,[2] то они

---

[1] Большое различие наблюденного числа (20.21) от сглаженного (20.42) в этом случае (в других случаях различие обыкновенно менее ± 0.05 div.) показывает на пертурбацию колебаний (§ 11), существующую в этих наблюдениях между $n = 3$ и 13. Действительно, она замечается при $n = 5$, 6, 10 и 11.

[2] При 11 данных, с такими величинами отклонений, как здесь, уже нельзя интерполировать самые r по параболе 2-го порядка, так как получаются, очевидно, неверные числа. Так, по способу наименьших квадратов, здесь получаем

$$r_n = 34.039 - 1.4255\ (n - 8) + 0.00418\ (n - 8)^2,$$

что дает $r_3 = 41.27$, $r_8 = 34.04$ и $r_{13} = 27.02$, что для первых двух представляет такие различия от наблюдений, которые совершенно невероятны. Подобные же числа получаются и при параболе 3-го порядка.

при интерполировании всех 11 данных по параболе 2-го порядка приводят к следующей вероятнейшей зависимости (в данном пределе) r от n:

$$\log r_n = 1.525877 - 0.019345\,(n-8) + 0.0002314\,(n-8)^2,$$

откуда получаем для вышеуказанных n следующие сглаженные значения r:

42.50 40.45 38.55 36.77 35.11 33.56 32.12 30.77 29.51 28.33 27.22,

откуда разность от наблюдения =

—0.04 +0.02 +0.06 +0.04 —0.05 —0.06 —0.02 +0.03 +0.02 +0.03 —0.03.

Хотя нигде разности не превосходят возможной погрешности, но ход в изменении разностей явно показывает, что парабола 2-го порядка еще не выражает всего явления в эмпирическом виде со всею возможною точностью и что здесь необходима уже парабола 3-го порядка.[1] Находя ее по способу наименьших квадратов, получаем выражение:

$$\log r = 1.52588 - 0.019359\,(n-8) + 0.0002314\,(n-8)^2 + \\ + 0.00000076\,(n-8)^3,$$

откуда для n от 3 до 13 получаем значения r:

42.52 40.46 38.55 36.77 35.11 33.56 32.12 30.77 29.50 28.32 27.21.

Разность этих чисел от наблюденных:

—0.06 +0.01 +0.06 +0.04 —0.05 —0.06 —0.02 +0.03 +0.03 +0.04 —0.02.

Отсюда видно, что с применением параболы 3-го порядка ни мера отступлений (квадратическая погрешность в среднем близка к ± 0.04), ни порядок в знаках отступлений почти не изменились, что ясно показывает существование в действительности вышенайденных погрешностей и сглаживание их интерполяциею, т. е. необходимость придавать сглаженным данным бо́льшую вероятность, чем выведенным прямо из наблюдения.[2] С другой стороны, рассмотренный пример,

---

[1] Далее парабол 3-го порядка я не считал полезным идти в интерполяционных расчетах, не только потому, что убедился, как доказывается далее, в неприложимости параболических выражений для выражения r по n, но и потому, что расчет многих парабол 4-го порядка по способу наименьших квадратов чересчур сложен и утомителен.

[2] Прилагая к тем же числам более соответственный способ расчета, описываемый далее, находим выражение

$$r = \frac{10^6}{59663\,(1.01919)^n - 39658},$$

как и множество ему подобных, мною разочтенных, ясно показывает, что для сглаживания в пределах «возможных» погрешностей 11 данных совершенно достаточна парабола 2-го порядка. Но как бы ни были близки к наблюдениям формулы, подобные $\log r = A + Bn + Cn^2$ в пределе 10—15 наблюденных размахов, они оказываются всегда неприложимыми к 20—30 элонгациям, особенно, если размахи велики. В подобных случаях приходилось прибегать к выражениям с 4 постоянными (параметрами), например:

$$\log r = A + Bn + Cn^2 + Dn^3 \quad \text{или} \quad \frac{1}{r} = A + Bn + Cn^2 + Dn^3,$$

как о том изложено в § 13. Но и такими, уже трудно рассчитываемыми формулами нельзя было довольствоваться в пределах точности наших наблюдений для выражения 70—100 друг за другом следующих элонгаций, что и заставило затем (§ 14) искать иных, более соответственных выражений для зависимости r от n. Путь, которому я следовал в этом расследовании, состоял прежде всего в сглаживании чисел отклонений r, полученных при наблюдениях, и в расчете по этим сглаженным данным декрементов. Вот в этом последнем отношении особую пользу показывает параболический расчет логарифмов r, так как производная от логарифма r по n прямо дает логарифм декремента, также изменяющегося по n, а потому все первоначальные наблюдения разочтены по логарифмам r для получения D, как видно по данным, приведенным в следующем параграфе. Узнав эмпирическую зависимость как r, так и D от n (или от порядка записей, т. е., в сущности, от времен), я надеялся подметить и выразить точнее взаимную связь между изменением (величиною) отклонений r и декрементов D, что составляет сущность важнейшего вопроса, касающегося исследований колебания. Надежда эта в значительной мере оправдалась, как увидим после рассмотрения совокупности произведенных наблюдений и сведений, полученных при их первоначальной обработке.

дающее следующие значения r для вышеуказанных 11-ти n:

42.54 40.46 38.53 36.75 35.09 33.55 32.11 30.77 29.51 28.33 27.22.

Разности от опыта и здесь почти такие же:

—0.08 +0.01 +0.08 +0.06 —0.03 —0.05 —0.01 +0.03 +0.02 +0.03 —0.03.

Естественность формул, подобных указанной, будет впоследствии выведена из рассмотрения совокупности собранных данных.

§ 10. Все специальные наблюдения, произведенные в Главной палате над многими друг за другом следующими колебаниями и назначенные преимущественно для изучения зависимости декремента от величины размахов и других обстоятельств, можно по времени и по существу преследуемых задач разделить на три разряда. К первому относятся начальные наблюдения (конец 1897 г. и начало января 1898 г.), назначавшиеся для отыскания того направления, какое должно было придать расследованию, и для определения числа колебаний, потребных для получения возможно точных выводов. Все данные этого разряда помещены в этом параграфе, вместе с первоначальными расчетами, до них относящимися. Опыт показал при этом, как указано в § 7, что изменения декремента тесно связаны с изменением времен одного размаха и что сразу наблюдать более 50, даже 40, элонгаций не только затруднительно для наблюдателей (особенно по той причине, что описываемые определения велись после производства текущих взвешиваний), но и излишне для отчетливости выводов, а потому во втором разряде наблюдений времена полных колебаний (в два размаха) регистрировались при помощи хронографа Марея в комбинации с астрономически выверенным хронометром и бралось обыкновенно по 50 элонгаций.

Собранные наблюдения приведены в § 12. При них велось наблюдение на двух весах — Неметца и Рупрехта и некоторые обстоятельства взвешиваний (величина поверхности наложенного на чашки груза, плотность воздуха, его замкнутость и вес нагрузки) изменялись. Этот разряд данных для меня был самым важным по той причине, что здесь выяснились многие стороны, относящиеся до связи между изменением декремента и величины размахов. Наконец, к 3-му разряду я отношу все наблюдения над многими колебаниями, произведенные при разных видоизменениях условий взвешивания и весов. Эти дополнительные данные распределены в разных частях этой главы, но я считаю далеко не законченными наблюдения, сюда мною относимые, так как печатание этой главы отчета совпадает со временем производства наблюдений, сюда относящихся, выполняемых в промежутке между текущими взвешиваниями, необходимыми по существу завершаемого возобновления.

Для того, чтобы можно было цитировать наблюдения, они означаются теми номерами, под которыми они записаны в листах или журналах наблюдений.

n°n° 877 и 881. В порядке взвешиваний, производившихся для возобновления прототипов, в начале января 1898 г. на весах Рупрехта, когда чувствительность была поднята почти до предела возможности и 1 div. отвечал 0.023—0.022 мг, производилось сличение платино-иридиевого фунта 1894 г., означенного [короною], с русским же фунтом из горного хрусталя; после некоторых взвешиваний произведены были Ф. П. Завадским 9-го (n° 877) и В. Д. Сапожниковым (n° 881) 12 января наблюдения над многими колебаниями, друг за другом следующими. В обоих наблюдениях все главные обстоятельства (весы, навеска и чувствительность, горный хрусталь лежал слева в обоих наблюдениях) были почти тождественны, но в плотности воздуха, вытесненного гирями, было заметно различие, которое здесь имеет тем более важное значение, что разность объемов (около 150 мл) значительна и малейшие перемены в давлении[1] должны были производить уже явные изменения в положении равновесия L, что и замечается в обоих наблюдениях. Вес литра воздуха для n° 877 $e = 1.1930$, а для n° 881 $e = 1.1988$. Для каждого из наблюдений разочтены и приведены L и r, а полученные значения $\log r$ интерполированы по 11, чтобы вывести изменяемость декремента.

n	l	L	r	n	l	L	r
1	171.7	(n° 877)		12	94.6	128.15	33.55
2	85.95			13	161.15	10	33.05
3	169.4	128.21	41.19	14	95.6	127.98	32.38
4	88.0	19	40.19	15	159.45	94	31.51
5	167.4	19	39.21	16	97.15	99	30.84
6	89.9	19	38.29	17	158.2	128.07	30.13
7	165.7	15	37.55	18	98.7	13	29.43
8	91.3	09	36.79	19	157.05	16	28.89
9	164.0	07	35.93	20	99.8	19	28.39
10	92.95	08	35.13	21	156.1		
11	162.4	11	34.29	22	101.0	(n° 877)	

[1] За которыми, однако, не следили при наблюдении колебаний. Что касается до температуры воздуха, то она оставалась, несомненно, близкою к постоянству в течение наблюдения.

Интерполирование $\log r$ по 11 дает для сглаживания следующие формулы:

$$\log r = 1.56448 - 0.009641\,(n-8) + 0.0000689\,(n-8)^2$$

для n от 3 до 13.

$$\log r = 1.49871 - 0.009382\,(n-15) - 0.0000049\,(n-15)^2$$

для n от 10 до 20.

Отсюда вытекает следующий средний численный вывод:

По	$n =$	5	10	15	20	
Сглаженные	$r =$	39.27	35.12	31.53	28.29	(n° 877)
Декремент,	$D =$	1.0234	1.0218	1.0218	1.0220	

Выводя подобную этой зависимость между декрементами D и соответственными отклонениями r, можно надеяться отыскать законность, их связывающую. Она уже отчасти предвидится из этого и других примеров, но стала очевидною только после накопления многих данных.

В наблюдениях под n°881 введена та особенность, что после непрерывного отсчета 24 элонгаций весы оставили качаться, не делая отсчетов, и чрез некоторое время опять было сделано 4 отсчета элонгаций, замечая времена (см. § 7, стр. 436), опять наблюдения прерваны и опять наблюдено 4 элонгации, что повторено еще раз. По записи времен (l. c.) можно было с уверенностью судить, какому n отвечает каждое из этих 12 наблюдений, произведенных после перерывов, что и вписано в прилагаемую таблицу.[1] При этом получилось, однако, одно немаловажное неудобство, заставившее затем оставить принятый здесь прием наблюдений. А именно, 4 элонгации, наблюденные после перерывов, давали по одному равновесию, и, следовательно, пришлось высчитывать r по этому L, а между тем из предшествующего ряда данных было видно, что в данном случае равновесия L меняются весьма сильно и, следовательно, в r, на-

[1] Такой способ наблюдений был придуман для облегчения производства отсчетов, но затем оставлен по той причине, что в расчете равновесий получилась надобность прибегнуть к гипотезе в отношении к ходу изменений L, справедливость же ее сомнительна. Вообще наблюдения описываемых номеров страдают именно в том отношении, что объемы сравниваемых грузов весьма различны и оттого L очень непостоянно, а потому впредь все главные наблюдения над колебаниями производились лишь тогда, когда объемы грузов были почти одинаковы.

ходимых после перерывов, должна быть неточность бóльшая, чем в начальных отсчетах.

n	*l*	*L*	*r*	*n*	*l*	*L*	*r*
1	244.9	(n° **881**)		19	227.8	198.21	29.59
2	153.25			20	169.3	22	28.92
3	241.4	198.02	43.38	21	266.5	21	28.29
4	155.7	01	42.31	22	170.55	17	27.62
5	239.3	09	41.21	23	225.1		
6	157.9	21	40.31	24	171.75		
7	237.9	25	39.65	37	219.0		
8	159.5	18	38.68	38	179.7	198.97	19.27
9	235.75	13	37.62	39	218.0	98	19.02
10	161.4	11	36.71	40	180.3		
11	234.0	08	35.92	45	215.75		
12	162.9	14	35.24	46	183.25	199.47	16.22
13	232.4	37	34.03	47	215.5	48	16.02
14	165.9	48	32.58	48	183.8		
15	230.3	33	31.97	71	213.7		
16	166.6	17	31.57	72	190.0	201.76	11.76
17	229.0	14	30.86	73	213.35	76	11.59
18	167.95	18	30.23	74	190.35	(n° **881**)	

Интерполирование по способу наименьших квадратов дало:

для n от 3 до 13:

$$\log r = 1.58644 - 0.0102528\,(n-8) - 0.0000597\,(n-8)^2,$$

для n от 12 до 22:

$$\log r = 1.48794 - 0.009921\,(n-17) + 0.0002145\,(n-17)^2.$$

На основании как этих формул, так и данных последних трех групп (n: 37—40, 45—48, 71—74), и беря, по степени вероятности чисел, средние значения, получаем следующий общий вывод, относящийся к описываемым наблюдениям:

$n =$	5	10	15	20	40	72	
$r =$	41.3	36.8	32.3	28.9	18.6	11.8	(n° **881**)
$D =$		1.024		1.023	1.017	1.015	

При сравнении этих данных с предыдущими уже видно, принимая во внимание погрешности, возможные в D, что декре-

менты уменьшаются вместе с размахами почти им пропорционально, но здесь, несомненно, так много случайных неправильностей, очевидно, зависящих не от погрешностей отсчета, что необходимо собрать многие подобные наблюдения, чтобы вывод из них получил полную достоверность.

n°n° 883 и 884. Когда (с 14 января 1898 г.) затем на весах Рупрехта помещены были (на пластинках из горного хрусталя) платино-иридиевые прототипы фунта 1894 г. со знаками $\overset{II}{H}$ и короны и производилось не только их сравнение, но и некоторые наблюдения, касающиеся взвешиваний (о чем в своем месте будет говориться), тогда Ф. П. Завадский и А. Н. Доброхотов[1] решились, попеременно производя отсчеты, непрерывно наблюсти столь много колебаний, сколько позволят силы наблюдателей и величины размахов, начинавшихся ради этой цели с значительной величины R_1 (в n° 883 $R_1 = 189.0$ div., а в n° 884 $R_1 = 156.9$ div.). При этом записано по 126 элонгаций и получился большой ряд данных, не имеющих себе равного ни в предшествующих, ни в последующих из наших наблюдений. Думалось достичь этим путем, особенно при повторенном наблюдении, полноты и наибольшей стройности наблюдений. Но в действительности, при расчете полученных данных, оказалось, что в длинном ряде элонгаций встречаются местами такие, хотя и небольшие, но явные неправильности или пертурбации (о которых подробнее говорится в следующем § 11), которые никоим образом нельзя объяснить неточностью отсчетов, а потому стройность длинного ряда данных в этих местах нарушается и приходится рассматривать части, как отдельные наблюдения над меньшим числом элонгаций. По этой причине и по утомительности очень длинных непрерывных отсчетов в последующих исследованиях мы стали ограничивать число наблюдаемых сразу элонгаций, сперва до 70, потом до 50, а наконец до 30 с небольшим, так как чрез это достигалось явное усовершенствование в стройности данных.

Тем не менее все данные n°n° 883 и 884 приводятся вполне, и они подвергнуты полной предварительной обработке, т. е. найдены L и r, и $\log r$ подвергнуты интерполяционному регулированию для расчета декрементов.

---

[1] Заступивший временно (за болезнью) В. Д. Сапожникова.

n	*l*	*L*	*r*	*n*	*l*	*L*	*r*
		(n° **883**)					
1	266.0			48	149.8	180.49	30.69
2	97.0			49	210.6	50	30.10
3	261.3	180.35	80.95	50	150.95	51	29.56
4	101.7	39	78.69	51	209.6	48	29.12
5	257.0	42	76.58	52	151.8	46	28.66
6	105.9	42	74.52	53	208.55	47	28.08
7	253.05	38	72.67	54	153.0	48	27.48
8	109.4	34	70.94	55	207.4	47	26.93
9	249.5	35	69.15	56	154.0	51	26.51
10	112.9	39	67.49	57	206.65	57	26.08
11	246.35	41	65.94	58	155.0	62	25.62
12	116.0	41	64.41	59	205.9	61	25.29
13	243.3	40	62.90	60	155.65	60	24.95
14	179.0	40	61.40	61	205.15	60	24.55
15	240.3	39	59.91	62	156.55	58	24.03
16	121.95	39	58.44	63	204.05	55	23.50
17	237.4	39	57.01	64	157.45	56	23.11
18	124.7	42	55.72	65	203.35	55	22.80
19	235.0	43	54.57	66	158.05	52	22.47
20	127.0	38	53.38	67	202.6	51	22.09
21	232.6	32	52.28	68	158.75	50	21.75
22	129.0	29	51.29	69	201.95	49	21.46
23	230.5	30	50.20	70	159.25	50	21.25
24	131.2	32	49.12	71	201.5	53	20.97
25	228.4	34	48.06	72	159.9	58	20.68
26	133.3	39	47.09	73	201.1	59	20.51
27	226.6	42	46.18	74	160.4	56	20.16
28	135.2	43	45.23	75	200.2	55	19.65
29	224.7	44	44.26	76	161.4	55	19.15
30	137.2	44	43.24	77	199.3	55	18.75
31	222.7	44	42.26	78	162.1	55	18.44
32	139.0	47	41.47	79	198.85	52	18.33
33	221.3	47	40.83	80	162.35	50	18.15
34	140.3	42	40.12	81	198.35	53	17.82
35	219.75	39	39.36	82	163.05	57	17.52
36	141.75	39	38.64	83	197.9	57	17.33
37	218.3	41	37.89	84	163.45	57	17.12
38	143.3	42	37.12	85	197.35	61	16.74
39	216.8	42	36.38	86	164.35	63	16.28
40	144.8	42	35.62	87	196.6	59	16.01
41	215.3	42	34.88	88	164.8	53	15.73
42	146.15	46	34.31	89	195.9	48	15.42
43	214.3	49	33.81	90	165.3	46	15.16
44	147.3	49	33.19	91	195.3	48	14.82
45	213.0	49	32.51	92	165.9	55	14.65
46	148.65	50	31.85	93	195.15	58	14.57
47	211.75	49	31.26	94	166.25	55	14.30

[*Продолжение*]

n	*l*	*L*	*r*	*n*	*l*	*L*	*r*
95	194.5	180.50	14.00	111	191.35	180.59	10.76
96	166.75	48	13.73	112	170.0	62	10.62
97	193.9	48	13.42	113	191.25	59	10.66
98	167.3	53	13.23	114	169.9	54	10.64
99	193.6	55	13.05	115	191.0	54	10.46
100	167.7	56	12.86	116	170.3	56	10.26
101	193.25	58	12.67	117	190.6	58	10.02
102	168.1	59	12.49	118	170.8	64	9.84
103	193.0	59	12.41	119	190.3	65	9.65
104	168.35	58	12.23	120	171.2	66	9.46
105	192.6	57	12.03	121	190.0	63	9.37
106	168.7	59	11.89	122	171.35	59	9.24
107	192.3	62	11.68	123	189.55	61	8.94
108	169.25	61	11.36	124	172.0	63	8.63
109	191.7	58	11.12	125	189.05		
110	169.6	57	10.97	126	172.3	(n° **883**)	

Во время производства наблюдений под n°883 вес литра воздуха был $e=1$. 1944 г, а 1 div. шкалы отвечал 0.0238 мг. (Таблица помещена на стр. 469—470).

Эти данные, вследствие их особой исключительности в количественном отношении, подвергнуты были разнообразным расчетам, из которых я приведу лишь два основных способа сглаживания по частям для получения регулированных r и D; один, состоящий в интерполировании по 11 рядом стоящих данных, как наиболее часто применявшийся, — долгий и утомительный, но зато сразу дающий r и D, а другой — наиболее краткий, состоящий в сглаживании по 7 данным, чтобы чрез сопоставление убедиться в пригодности этого последнего, кратчайшего способа. Интерполирование по способу наименьших квадратов дало следующие формулы:

Для n в n° 883

От 3 до 13: $10^4 \log r = 18505\cdot17 - 108.934\,(n - 8) + 1.170\,(n - 8)^2$
» 14 » 24: $10^4 \log r = 17368\cdot29 - 95.967\,(n - 19) + 1.261\,(n - 19)^2$
» 25 » 35: $10^4 \log r = 16361\cdot88 - 87.979\,(n - 30) + 1.044\,(n - 30)^2$
» 36 » 46: $10^4 \log r = 15439\cdot80 - 82.849\,(n - 41) + 0.648\,(n - 41)^2$
» 47 » 57: $10^4 \log r = 14557\cdot1 - 79.30\,(n - 52) - 0.25\,(n - 52)^2$
» 58 » 68: $10^4 \log r = 13729\cdot3 - 73.49\,(n - 63) + 0.31\,(n - 63)^2$
» 69 » 79: $10^4 \log r = 13013\cdot6 - 74.42\,(n - 74) - 2.24\,(n - 74)^2$
» 80 » 90: $10^4 \log r = 12223\cdot5 - 79.38\,(n - 85) - 1.35\,(n - 85)^2$
» 91 » 101: $10^4 \log r = 11381\cdot7 - 72.35\,(n - 96) - 0.33\,(n - 96)^2$
» 102 » 112: $10^4 \log r = 10653\cdot1 - 75.48\,(n - 107) - 1.65\,(n - 107)^2$
» 113 » 123: $10^4 \log r = 9942\cdot9 - 77.95\,(n - 118) - 0.81\,(n - 118)^2$

Сравнение этих выражений между собою представляет много поучительности и указывает на явления, рассматриваемые в следующем параграфе, но я не считаю необходимым особо останавливаться над тем, что лично для меня было особенно важно в этих формулах, выражающих длинный ряд последовательных колебаний, потому что в дальнейшем изложении такие же следствия выступят еще явственнее. Замечу только, что для нашей цели особо важны коэффициенты при n и n^2, потому что они определяют изменения декремента, так как если

$$\log r = A - Bn + Cn^2,$$

то

$$\log D = B - 2Cn.$$

Значения r и D, выводимые по этим формулам, в окончательном своде, далее помещаемом, означены: «по интерпол. log».

«Сглаженные по 7» значения r найдены (§ 9) прямо из самих отклонений, а не из их логарифмов, так как в обоих случаях получаются почти тождественные числа. Например, для $n=41$ сглаживание самих отклонений дает $r_{41}=34.938$, и сглаживание логарифмов (получается 1.543296) дает совершенно то же число, по наблюдению же $r_{41}=34.88$, а по интерполированию 11 логарифмов получено 34.993. Разности, какие замечаются в подобных случаях между разными способами сглаживания, меньше возможных погрешностей наблюдения, и вероятность этих сглаженных значений r более, чем наблюденных для данного n.

По поводу сглаживаний по 7 данным считаю полезным сделать одно замечание, касающееся стройности наблюденных чисел. Везде там, где не было тех обстоятельств, нарушающих стройность, которые я называю в § 11 «пертурбациями», всегда полусумма $r_{n+3}+r_{n-3}$ более полусуммы $r_{n+2}+r_{n-2}$, а она более полусуммы $r_{n+1}+r_{n-1}$, эта же последняя более r_n. Когда же есть в данных наблюдениях «пертурбации», этот последовательный порядок нарушается, и в этом последнем случае нередко в интерполяционной формуле для $\log r$ при C (или при коэффициенте пред n^2) стоит не + как обыкновенно, а — минус, что составляет главную причину, нарушающую стройность хода в изменениях r и D по n или D по r.

Что же касается до способа расчета декремента, отвечающего данному n, то он выводился (когда r более 25 div.) из разности логарифмов r при $n-3$ и $n+3$, разделяя эту

разность на 6. Основание этому приему состоит в следующем. Декремент есть частное из r, следующих друг за другом, следовательно его логарифм есть разность логарифмов r_n и r_{n+1}. Но такой декремент относится не к n и не к $n+1$, а к переходу одного в другой.

Чтобы отыскать логарифм D_n, относящегося к n, очевидно, остается взять среднее из разностей:

$$\log r_{n-1} - \log r_n \quad \text{и} \quad \log r_n - \log r_{n+1},$$

или, что то же, среднее из двух декрементов — предшествующего n и следующего за ним. Но среднее из указанных разностей равно $\frac{1}{2}(\log r_{n-1} - \log r_{n+1})$. Однако, взяв эту полуразность, мы введем в получаемый декремент полуразность погрешностей в единичных декрементах, что может повести к числу, очень далекому от истинного D_n. Чтобы уменьшить эту погрешность в D_n, очевидно, лучше взять разность $\log r_{n-k}$ и $\log r_{n+k}$ и разделить ее на $2k$. Но k нельзя взять большое, потому что $\log D$ не стоит в прямолинейной зависимости от n. Взявши же k малое, например $=1$ или 2, введем большую долю погрешностей, свойственных единичным определениям D (§ 2).

Следовательно, надлежало по испытанию выбрать подходящее k, чтобы не впасть в ошибку того или другого рода и получить по возможности достоверное D. Опыт показал, что для этого лучше всего принять k равным 3, 4 или 5, и я держусь здесь этого правила, так что при r более 25, беру $k=3$, а при меньших r [1] принимаю $k=4$, т. е., например в первом случае log сглаженного декремента для r_n находится так:

$$\log D_n = \frac{1}{6}(\log r_{n-3} - \log r_{n+3}).$$

Декременты, разочтенные этим способом, названы далее «первыми D_n». Из следующего сопоставления видно, что такие декременты близки — в пределах возможных погрешностей — к декрементам, разочтенным по интерполированию $\log r$.

---

[1] Для очень малых r (например менее 8 div.) во всяком случае декременты очень мало точны, и тогда лучше брать k более 4.

Тогда

$$\log D_n = \frac{1}{2k}(\log r_{n-k} - \log r_{n+k}).$$

(п° 883) n	r_n набл.	r по интерпол. log	r сглаж.	D по интерпол. log	Первые D_n
8	70.94	70.88	70.88	1.0254	1.0251
19	54.57	54.55	54.52	1.0223	1.0220
30	43.24	43.27	43.23	1.0205	1.0207
41	34.88	33.99	34.94	1.0193	1.0188
52	28.66	28.55	28.61	1.0184	1.0187
63	23.50	23.60	23.55	1.0171	1.0171
74	20.16	20.01	20.10	1.0173	1.0171
85	16.74	16.68	16.72	1.0185	1.0182
96	13.73	13.75	13.71	1.0168	1.0164
107	11.68	11.62	11.63	1.0175	1.0180
118	9.84	9.87	9.83	1.0181	1.0160
	±0.10 div.	±0.08			

На рассмотрении этих регулированных наблюдений я не считаю надобным здесь подробнее останавливаться, тем более, что неоднократно буду к ним обращаться и рассмотрю впоследствии их совокупность.[1] Но обращу еще раз внимание на то, что сокращенные способы сглаживания r и D дают почти те же числа (в пределе погрешностей), как и по интерполированию логарифмов, а потому нередко применяются далее.

Переходя к данным, записанным под п° 884 и наблюденным так же, как и для предшествующего ряда, Ф. П. Завадским и А. Н. Доброхотовым (попеременно), должно заметить, что на этот раз вес литра воздуха e был $= 1.1655$ г, т. е. гораздо менее, чем для п° 883, а 1 div. шкалы весов Рупрехта был $= 0.0238$ мг, т. е. такой же, как в п° 883. Нагрузкой служили платино-иридиевые фунты, как и ранее.

[1] Считаю, однако, полезным заметить, что многие пробы способов расчета, произведенные над данными п° 883 (и других п° п° этого параграфа), указали мне, что расчет 50—60 (не говоря уже о 100 или более) размахов R или отклонений r не выражается с достаточною точностью кривыми 2-го и 3-го порядков, даже принимая во внимание «пертурбации» и меру погрешностей, ни для $\log r$, ни для $\frac{1}{r}$, ни для D, ни для $\log D$, тогда как, взяв лишь 25—30 данных, можно получить очень точное сглаживание, особенно для $\log r$ параболою 3-го порядка. Излагать все это в подробности — считаю напрасным. Прибавлю, но тоже кратко, еще одно замечание: форма кривой, выражающей зависимость D или $\log D$ от n, очень сходна с формою кривой r или $\log r$ по n, что дает указание на показательную функцию. Кривыя даны в § 11.

n	l	L	r	n	l	L	r
1	260.8	(n° 884)		48	152.0	181.73	29.73
2	103.9			49	211.05	68	29.37
3	256.6	181.33	75.27	50	152.7	58	28.88
4	108.15	33	73.18	51	209.75	54	28.21
5	252.6	32	71.28	52	153.9	56	27.66
6	111.75	33	69.58	53	208.75	55	27.20
7	249.3	37	67.93	54	154.85	52	26.67
8	115.1	40	66.30	55	207.6	50	26.10
9	246.15	44	64.71	56	155.9	52	25.62
10	118.3	48	63.18	57	206.7	54	25.16
11	243.3	46	61.84	58	156.9	55	24.65
12	120.9	43	60.53	59	205.75	52	24.23
13	240.65	41	59.24	60	157.65	49	23.84
14	123.4	39	57.99	61	204.9	47	23.43
15	238.1	39	56.71	62	158.4	49	23.09
16	125.9	42	55.52	63	204.25	51	22.74
17	235.8	48	54.32	64	159.2	50	22.30
18	128.35	58	53.23	65	203.4	45	21.95
19	233.75	74	52.01	66	159.8	41	21.61
20	131.1	85	50.75	67	202.6	39	21.21
21	231.75	79	49.96	68	160.5	43	20.93
22	132.6	66	49.06	69	202.0	52	20.48
23	229.6	58	48.02	70	161.6	60	20.0
24	134.4	58	47.18	71	201.3	65	19.65
25	227.9	61	46.29	72	162.3	68	19.38
26	136.3	63	45.33	73	200.9	68	19.22
27	226.0	62	44.38	74	162.7	64	18.94
28	138.2	61	43.41	75	200.2	64	18.56
29	224.05	60	42.45	76	163.45	65	18.20
30	140.0	58	41.58	77	199.5	65	17.85
31	222.45	51	40.94	78	164.15	65	17.50
32	141.15	42	40.27	79	198.8	64	17.16
33	220.8	42	39.38	80	164.8	64	16.84
34	142.8	55	38.75	81	198.15	64	16.51
35	219.7	75	37.95	82	165.45	63	16.18
36	144.8	93	37.13	83	197.5	62	15.88
37	218.6	97	36.63	84	166.0	61	15.61
38	146.0	90	35.90	85	196.95	61	15.34
39	217.05	80	35.25	86	166.55	59	15.04
40	147.05	73	34.68	87	193.3	59	14.71
41	215.75	67	34.08	88	167.15	62	14.47
42	148.15	63	33.48	89	195.9	64	14.26
43	214.35	65	32.7	90	167.7	63	13.93
44	149.7	70	32.00	91	195.2	60	13.60
45	213.2	70	31.50	92	168.25	58	13.33
46	150.7	67	30.97	93	194.65	56	13.09
47	212.0	69	30.31	94	168.7	54	12.84

[*Продолжение*]

n	*l*	*L*	*r*	*n*	*l*	*L*	*r*
95	194.1	181.53	12.57	111	190.95	181.48	9.47
96	169.15	57	12.42	112	172.15	46	9.31
97	193.85	62	12.23	113	190.6	48	9.12
98	169.7	61	11.91	114	172.45	59	9.14
99	193.25	55	11.70	115	190.8	72	9.08
100	170.0	46	11.46	116	172.95	77	8.82
101	192.6	38	11.22	117	190.45	75	8.70
102	170.3	33	11.03	118	173.15	72	8.57
103	192.1	29	10.81	119	190.15	68	8.47
104	170.65	29	10.64	120	173.25	64	8.39
105	191.7	34	10.36	121	189.85	62	8.23
106	171.2	47	10.27	122	173.55	59	8.04
107	191.8	56	10.24	123	189.45	55	7.90
108	171.6	58	9.98	124	173.7	54	7.84
109	191.35	54	9.81	125	189.25		
110	171.85	50	9.65	126	174.1	(n° 884)	

При расчете данных n° 884 было принято во внимание то, что замечено при рассмотрении n° 883, а потому сглаживание *r* произведено кратчайшим способом, т. е. из 7 данных, по формуле

$$r_n = \frac{1}{21}[7r + 6(r_1 + r_{-1}) + 3(r_2 + r_{-2}) - 2(r_3 + r_{-3})].$$

Сглаженные *r* даны в прилагаемой сводке результатов и показывают большую стройность. Они даны чрез 6, чтобы подробнее представить совокупность наблюдений.

Что касается до декрементов, соответствующих тем же *n*, для которых разочтены *r*, то они находились (из разностей логарифмов наблюденных *r*) способом, указанным выше, а именно, если *r* более 25 div., то

$$\log D_n = \frac{1}{6}(\log r_{n-3} - \log r_{n+3});$$

когда *r* менее 25, но более 10, бралась разность логарифмов для $r - 4$ и $r + 4$ и делилась на 8. Так получены следующие данные, выражающие все наблюдения с большою ясностью, хотя в декрементах (особенно для малых *r*), без сомнения, остались еще большие погрешности, меру которых можно до некоторой степени определить.

(n° 884) $n=$	6	12	18	24	30	36	42
Сглаженные $r=$	69.56	60.52	53.15	47.17	41.66	37.24	33.41
Первые $D_n=$	1.0255	1.0222	1.0213	1.0199	1.0201	1.0186	1.0189

$n=$	48	54	60	66	72	78	84
Сглаженные $r=$	29.82	26.65	23.82	21.59	19.41	17.50	15.61
Первые $D_n=$	1.0186	1.0193	1.0170	1.0176	1.0176	1.0199	1.0191

$n=$	90	96	102	108	114	120
Сглаженные $r=$	13.93	12.40	11.03	10.01	9.11	8.36
Первые $D_n=$	1.0200	1.0191	1.0187	1.0171	1.0148	1.0148

Для нашей главной цели (определить зависимость декрементов от r) весьма важно, что начальные декременты, наиболее точно определяемые (потому что размахи тогда велики), явно больше всех остальных,[1] но необходимо выяснить: не стремится ли D с уменьшением r к постоянству, так как он, после явного падения вначале, затем то повышается, то вновь понижается. Вопрос этот по существу разбирается в следующих параграфах (§§ 11, 13), здесь же заметим только, что средняя разность наблюденных и сглаженных r не выше ± 0.05 div., и если припишем такую погрешность отсчету δ (§ 2) элонгаций, то погрешность Δ в D будет близка (считая средний $D=1.02$ и замечая, что размахи R почти равны $2r$) к

$$\pm\Delta=\delta\frac{D(1+D)}{R}=0.05\frac{2.06}{2r}=\frac{0.0515}{r};$$

при $n=6$ возможная погрешность декремента здесь менее ± 0.0008, а при $n=60$ — около ± 0.0022, при $n=90$ — около ± 0.0037, а при $n=120$ — уже около ± 0.0062. Поэтому большая разность D при этих последних n ($1.0200-1.0148=0.0052$) находится глубоко в пределе суммы возможных для этих n погрешностей, чего нет в отношении к начальным и конечным декрементам. Для $n=6$ и $n=120$ разность

---

[1] Убеждение в этом еще более возрастает, если разочтем (способом наименьших квадратов) для первых 5 (n от 3 до 7) изменение r по n, а оттуда и начальный (при $n=3$) декремент. Данные эти дают

$$\log r=1.853054-0.011103\,(n-5)+0.000325\,(n-5)^2,$$

откуда в пределе от $n=3$ до $n=7$

$$\log D=0.011103-0.00065\,(n-5),$$

что дает для $n=3$ самый большой $D=1.0290$.

декрементов (1.0255 — 1.0148 = 0.0107) больше суммы погрешностей, возможных для обоих данных, так как для $n = 6$ $\Delta = \pm 0.0008$, для $n = 120$ возможная погрешность $= +0.0062$ и сумма этих погрешностей не может быть более ± 0.0070, что в $1^1/_2$ [раза] менее замечаемой разности декрементов. Следовательно, можно с уверенностью говорить, что декремент при уменьшении размахов падает, но нельзя видеть (хотя и можно предполагать), постоянно ли продолжается такое падение декремента. Очевидно, необходимы новые наблюдения, чтобы приблизиться к уверенному решению подобного вопроса.[1]

п°п° 885 и 886. С теми же весами (Рупрехта) и навесками (платино-иридиевые прототипы фунта), как и в п°п° 883 и 884, те же наблюдатели (Ф. П. Завадский и А. Н. Доброхотов) произвели еще два определения колебаний с тем, чтобы, во-первых, умножить число данных, необходимых для получения уверенных выводов, во-вторых, чтобы начать с меньших размахов (в п° 885 $R_1 = 48.4$, а в п° 886 $R_1 = 50.4$), чем в двух предшествовавших определениях, что ближе к действительности, встречающейся при взвешиваниях, и, в-третьих, чтобы при умножении наблюдений получить хоть один ряд данных, по возможности лишенный, очевидно, случайных неправильностей, замечаемых в предшествующих наблюдениях и происходящих от не выясненных еще внешних причин, так как некоторые и немалые части предшествующих наблюдений, очевидно, обладают полною стройностью. Действительно, в п° 885 оказалось много таких неправильностей, а в п° 886 очень мало; для показания этого приводим некоторые из многих расчетов, произведенных над числами описываемых наблюдений, так как приведение всех сделанных расчетов было бы очень обременительно, тем более, что в конце концов пришлось прибегнуть к новой, вначале не имевшейся в виду, форме выражения данных или зависимости D от r и r от n. Отрывочные данные о временах размахов для описываемых наблюдений, равно как и для предшествующих, приведены в § 7 (стр. 437).

---

[1] Мне казалось долгое время, что декремент вначале падает, но стремится к постоянству и при многих размахах его достигает. Затем разбор моих наблюдений убедил меня в том, что падение декремента продолжается и тогда, когда r приближается к нулю, хотя прямым опытом убедиться в этом и нельзя, так как при очень малых размахах погрешность D становится очень большою.

Во время наблюдений n° 885 вес литра воздуха $e = 1.1829$ г, чувствительность же весов для этого двух предшествующих и следующего наблюдений определяется тем, что 1 div. $=$ $= 0.02379$ мг.

n	l	L	r	n	l	L	r
		(n° 885)		32	124.95	137.79	12.84
1	162.7			33	150.4	75	12.65
2	114.3			34	125.2	73	12.53
3	160.95	137.95	23.00	35	150.0	81	12.19
4	115.4	91	22.51	36	126.0	91	11.91
5	159.95	88	22.07	37	149.8	92	11.88
6	116.3	84	21.54	38	126.2	84	11.64
7	158.7	87	20.83	39	149.05	78	11.27
8	117.7	91	20.21	40	126.85	74	10.89
9	157.75	88	19.87	41	148.25	70	10.55
10	118.25	86	19.61	42	127.35	68	10.33
11	157.15	86	19.29	43	147.8	66	10.14
12	119.0	82	18.82	44	127.7	63	9.93
13	156.15	77	18.38	45	147.35	61	9.74
14	119.7	75	18.05	46	128.0	61	9.61
15	155.45	74	17.71	47	147.1	63	9.47
16	120.4	71	17.31	48	128.3	64	9.34
17	154.55	70	16.85	49	146.9	65	9.25
18	121.25	71	16.46	50	128.5	64	9.14
19	153.85	72	16.13	51	146.65	62	9.03
20	121.9	73	15.83	52	128.7	58	8.88
21	153.3	76	15.54	53	146.25	57	8.68
22	122.5	78	15.28	54	129.05	58	8.53
23	152.85	79	15.06	55	145.9	63	8.27
24	123.0	78	14.78	56	129.75	64	7.89
25	152.3	75	14.55	57	145.2	63	7.57
26	123.35	73	14.38	58	130.25	64	7.39
27	151.9	75	14.15	59	144.9	67	7.23
28	123.85	75	13.90	60	130.6		
29	151.45	74	13.71	61	144.7	(n° 885)	
30	124.2	74	13.54				
31	151.0	78	13.22				

Для расчета этих данных применялось, как и во многих других случаях, интерполирование или $\log r$ или $1/r$, а также прямое сглаживание r; результаты всех этих приемов почти тождественны, как можно убедиться по ниже приводимым данным для интерполирования 11 соседних данных по $\log r$ и по реципрокам, а это дает убеждение в том, что способы, примененные для сглаживания, вполне приложимы к этим исследованиям.

Интерполирование способом наименьших квадратов по 11 данным для реципроков дало следующие выводы:

Для n от 3 до 13: $\frac{10^5}{r} = 4898.1 + 109.53\,(n-8) - 0.910\,(n-8)^2$

» » » 14 » 24: $\frac{10^5}{r} = 6191.0 + 124.0\,(n-19) - 2.05\,(n-19)^2$

» » » 25 » 35: $\frac{10^5}{r} = 7434.5 + 170.0\,(n-30) + 3.85\,(n-30)^2$

» » » 36 » 46: $\frac{10^5}{r} = 9401.6 + 221.4\,(n-41) - 1.74\,(n-41)^2$

» » » 47 » 57: $\frac{10^5}{r} = 11250.8 + 245.2\,(n-52) + 25.6\,(n-52)^2$

Точно так же интерполированы $\log r$ и для тех же чисел r и n, причем получено:

Для n от 3 до 13: $10^4 \log r = 13099.8 - 97.78\,(n-8) + 1.87\,(n-8)^2$
» » » 14 » 24: $10^4 \log r = 12082.3 - 87.75\,(n-19) + 2.33\,(n-19)^2$
» » » 25 » 35: $10^4 \log r = 11289.6 - 77.85\,(n-30) - 1.78\,(n-30)^2$
» » » 36 » 46: $10^4 \log r = 10270.2 - 102.28\,(n-41) + 1.82\,(n-41)^2$ и
» » » 47 » 57: $10^4 \log r = 9485.4 - 91.06\,(n-52) - 8.53\,(n-52)^2$

Почти полное тождество регулирования r по реципрокам и логарифмам, равно как отношение к опытным данным и степень соответствия между r и D (логарифмы которых разочтены как производные от $\log r$ с отрицательным знаком, как объяснено ранее), видны из прилагаемого сопоставления, которое и есть вывод из всего наблюдения и расчетов:

(n° 885) $n=$	8	19	30	41	52
Наблюденные $r=$	20.21	16.13	13.54	10.55	8.88
Сглаженные по реципрокам $r=$	20.42	16.15	13.45	10.64	8.89
» » логарифмам $r=$	20.41	16.15	13.46	10.64	8.88
Соответствующие $D=$	1.0228	1.0204	1.0180	1.0238	1.0212

Одного взгляда на эти цифры уже достаточно, чтобы видеть, какой ряд неправильностей встречается как в этом, так и в некоторых других наблюдениях, или, правильнее, в их частях, но так как этот предмет рассматривается в следующем параграфе, то здесь мы только о нем упоминаем, особенно в виду n° 886, где такие же неправильности есть, но в слабейшей мере.

При наблюдениях, записанных под n° 886, все главные условия были те же, как в n° 885, только в весе литра воздуха видно явное увеличение, а именно для n° 886 $e = 1.1980$ г.

n	l	L	r	n	l	L	r
1	165.6	(n° **886**)		36	127.0	139.77	12.77
2	115.2			37	152.3	73	12.57
3	164.25	140.02	24.23	38	127.3	69	12.39
4	116.35	139.98	23.63	39	151.8	67	12.13
5	163.0	94	23.06	40	127.8	65	11.85
6	117.35	90	22.55	41	151.2	63	11.57
7	161.95	86	22.09	42	128.25	59	11.34
8	118.1	85	21.75	43	150.7	52	11.18
9	161.25	84	21.41	44	128.45	46	11.01
10	118.85	81	20.96	45	150.2	43	10.77
11	160.25	78	20.47	46	128.8	46	10.66
12	119.75	75	20.00	47	150.0	50	10.50
13	159.25	73	19.52	48	129.25	51	10.26
14	120.65	73	19.08	49	149.6	49	10.11
15	158.4	72	18.68	50	129.5	49	9.99
16	121.4	72	18.32	51	149.3	52	9.78
17	157.7	70	18.00	52	130.0	55	9.55
18	122.0	67	17.67	53	148.95	55	9.40
19	156.95	66	17.29	54	130.35	52	9.17
20	122.7	66	16.96	55	148.4	49	8.91
21	156.35	64	16.71	56	130.75	51	8.76
22	123.15	64	16.49	57	148.15	53	8.62
23	155.85	68	16.17	58	131.05	54	8.49
24	123.9	70	15.80	59	147.9	56	8.34
25	155.2	69	15.51	60	131.4	58	8.18
26	124.4	69	15.29	61	147.65	57	8.08
27	154.75	72	15.03	62	131.6	57	7.97
28	125.0	72	14.72	63	147.4	56	7.84
29	154.2	71	14.49	64	131.9	57	7.67
30	125.4	71	14.31	65	147.1	55	7.55
31	153.8	73	14.07	66	132.1	52	7.42
32	126.0	73	13.73	67	146.75	51	7.24
33	153.15	71	13.44	68	132.4	53	7.13
34	126.45	68	13.23	69	146.6		
35	152.85	77	13.08	70	132.6	(n° **886**)	

Интерполяционный расчет этих данных приводим только по логарифмам, так как по ним прямо получаются и декременты:

Для n от 3 до 13: $10^4 \log r = 13360.6 - 89.26\,(n-8) + 1.24\,(n-8)^2$
» » » 14 » 24: $10^4 \log r = 12386.8 - 79.98\,(n-19) + 0.62\,(n-19)^2$
» » » 25 » 35: $10^4 \log r = 11516.7 - 76.38\,(n-30) + 1.93\,(n-30)^2$
» » » 36 » 46: $10^4 \log r = 10647.5 - 82.21\,(n-41) + 1.05\,(n-41)^2$
» » » 47 » 57: $10^4 \log r = 9805.6 - 87.20\,(n-52) - 1.46\,(n-52)^2$
» » » 58 » 68: $10^4 \log r = 8931.6 - 75.26\,(n-63) - 1.16\,(n-63)^2$

Здесь хотя и видны неправильности в изменении коэффициентов как при первой, так и при второй степенях n, но эти неправильности, во-первых, численно меньше, а во-вторых, относятся преимущественно к малым r, при которых точность отсчетов сравнительно мала и значения D (т. е. и коэффициентов при высших степенях n) определяются лишь с малою степенью достоверности (§ 2). Выводы можно представить в таком виде:

(п° 886) $n=$	8	19	30	41	52	63
По наблюдениям $r=$	21.75	17.29	14.31	11.57	9.55	7.84
Сглаженные $r=$	21.68	17.33	14.18	11.61	9.56	7.82
Декременты $D=$	1.0208	1.0186	1.0178	1.0191	1.0203	1.0175

Разность между наблюденными и сглаженными r здесь незначительна для $n=8$, тогда как в 885-м наблюдении она много превосходит возможные погрешности отсчетов.[1]

---

[1] Для того, чтобы по возможности устранить частные неправильности, встречающиеся в отдельных наблюдениях, одно время мне казалось полезным комбинировать два столь сходных ряда, как 885 и 886 или 883 и 884 и, подвергнув среднее из них сглаживанию интерполированием, приблизиться чрез это к истинной законности отношений между n, r и D. Но хотя расчеты, сюда относящиеся, отняли у меня много времени, я считаю излишним долго останавливаться над ними, потому что результаты этой части исследования были немногочисленны и подход к истине получился не этим путем, а при разборе наблюдений, произведенных на весах Неметца, когда чувствительность не была столь велика, как в вышеописанных наблюдениях с весами Рупрехта. Тем не менее я здесь вкратце упомяну о том, что получил из среднего для п°п° 885 и 886, взяв для п° 885 $m=n-2$, а для п° 886 $m=n-7$, ибо тогда получились почти одинаковые r, а именно, сперва при малых m, большие из п° 885, а под конец обратно. В виде примера приведу, что для $m=20$ получилось в среднем $r=15.155$, потому что r_{22} для п° 885 $=15.28$, а для п° 886 $r_{27}=15.03$. Такие средние интерполированы по 11 и дали сглаженные r. Так, например, для m от 1 до 11 получилось

$$r=19.983-0.4426\,(m-6)+0.0108\,(m-6)^2.$$

По сглаженным r найдены декременты, но общей правильности в их изменении, в зависимости от m и r, не оказалось; например, для $m=4$: $r=20.91$, $D=1.0242$; для $m=24$: $r=14.20$, $D=1.0170$ и для $m=44$: $r=9.69$, $D=1.0174$. Поэтому все подобные расчеты средних из 2 рядов впредь оставлены и не повторялись, т. е. каждое наблюдение рассчитано самостоятельно, одно.

Интерполирование $\log r$ (как всегда по способу наименьших квадратов) дало для частей лучшие результаты, а именно для первой части данных (m от 1 до 22) получено:

$$\log r=1.36100-0.01027\,m+0.0000620\,m^2 \qquad (I)$$

и для остальной части данных:

$$\log r=1.36146-0.00830\,m+0.0000073\,m^2, \qquad (II)$$

В рассмотренных определениях, принимая во внимание возможные погрешности, уже видно, в общих чертах, что уменьшение декремента идет почти пропорционально с уменьшением размахов R или отклонений r, что мы и станем рассматривать в одном из следующих параграфов.

§ 11. Ранее, чем описывать другие наблюдения над многими колебаниями весов, считаю необходимым остановить внимание на первых общих выводах, получающихся при рассмотрении и расчете вышеописанных предварительных данных, показавших практические требования, которым должны удовлетворять наблюдения, назначенные для суждения о связи между последовательностью (числом) элонгаций n, величинами амплитуд r и декрементами D.

Собранные данные прежде всего с полною определенностью показывают, что декремент при уменьшении размахов R

как видно из приводимого сопоставления:

n	r сглаженные	r по (I)	n	r сглаженные	r по (II)	Разность
1	22.47	22.43	24	14.20	14.25	—0.05
3	21.41	21.42	27	13.48	13.44	+0.04
5	20.44	20.47	30	12.73	12.68	+0.05
7	19.55	19.59	33	11.97	11.97	0
9	18.75	18.77	36	11.32	11.30	+0.02
11	18.04	18.01	39	10.62	10.67	—0.05
13	17.34	17.30	42	10.03	10.08	—0.05
15	16.64	16.63	45	9.49	9.53	—0.04
17	16.00	16.01	48	9.07	9.00	+0.07
19	15.41	15.42	51	8.57	8.51	+0.06
21	14.88	14.88	54	8.00	8.05	—0.05

Эти формулы дают следующее соотношение между n, r и D.

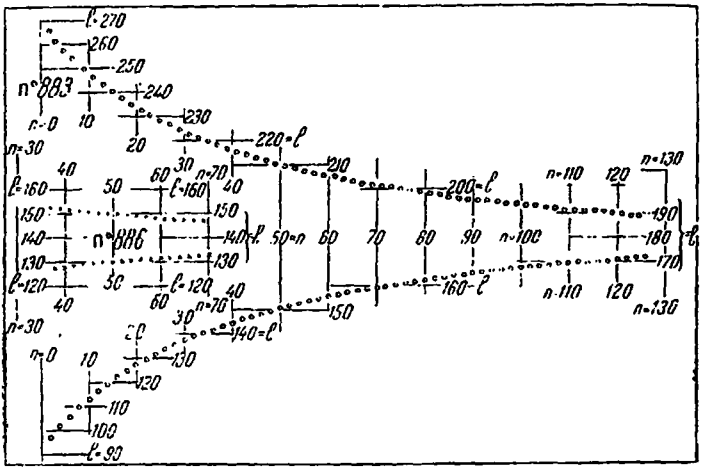
$n=$	0	10	20	30	40	50
$r=$	23.0	18.4	15.1	12.7	10.5	8.7
$D=$	1.0239	1.0210	1.0181	1.0182	1.0172	1.0161

А здесь видна, если принимать во внимание возможные в D погрешности, почти полная пропорциональность между r и D, всегда близкого к

$$D = 1.012 + 0.0005\,r,$$

но, конечно, такой вывод не может считаться твердым по причине искусственности приема.

или отклонений r постоянно падает во всех тех случаях, когда стройная последовательность уменьшений R или r убеждает в полной правильности хода явления. При первом же приступе к предмету по предрассудку относительно изохронизма размахов и постоянства декремента, взятому из обычных понятий о колебании маятников,[1] можно было полагать, что только при начальных колебаниях весов, вследствие незаконченшегося сгибания коромысла, существуют отклонения от постоянства D. Судя по опыту, можно, однако, полагать,



Черт. 1. Графическое изображение элонгаций, наблюденных на весах Рупрехта при сравнении веса прототипов фунта. В n° 883 наблюдено 126 элонгаций, в n° 886 наблюдено 70 элонгаций, нанесено же на чертеже только 40 последних. Абсциссами служит счет элонгаций n, а ординатами — величины элонгаций l в делениях шкалы.

что уменьшение D идет до самого конца наблюдений. Это особенно выступает, когда размахи велики и когда, вследствие того, погрешность начальных и средних D невелика, как это видно, например, в данных n° 883, которые показывают, что при самом начале ($n=3$), когда r около 80 div.,

[1] В механике доказывается, что маятник в сопротивляющейся среде дает изохронические колебания и размахи убывают правильно по постоянному декременту, если сопротивление пропорционально скорости. Дело в физическом маятнике, очевидно, сложнее, так как трение ножей не поддается расчету, как неизвестная функция давлений или других подлежащих расчету влияний.

D близко к 1.030; в средине наблюдений ($n=33$), когда r около 43 div., D близко к 1.020, а при конце ($n=123$), когда r около 9 div., D близко к 1.016, т. е. сперва быстро убывают как r, так и D, а потом убыль обоих идет, но медленнее (и менее правильно), чем было ранее (см. черт. 3). Это же можно видеть и в других наблюдениях, но, принимая во внимание «возможную» в D погрешность, положительно утверждать нельзя без дальнейшего опыта.

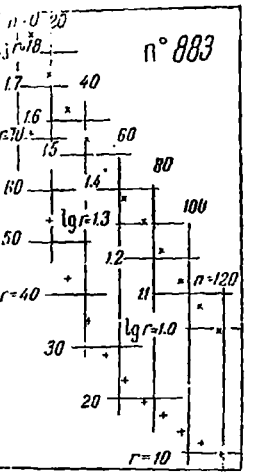
Согласная стройность таких изменений в опыте нередко, однако, нарушается, так что может даже казаться, что с уменьшением размахов (хотя бы после их регулирования) декремент не уменьшается, а возрастает. Так, например, в том же n° 883 при n от 50 до 75 замечается явное нарушение стройности в изменении размахов. На прилагаемом чертеже (черт. 1) нанесены по масштабу прямо все элонгации, наблюденные в n° 883 (и в n° 886). Общее направление кривых показывает явную стройность, но в частях видны уклонения от правильности, которые назовем *пертурбациями*. Лучше всего существование их видно из равенств, отвечающих частям кривых или выражающих r или $\log r$ по n (§ 10). Эти кривые не только вообще, но и в частях своих вогнуты, как видно на прилагаемом чертеже (черт. 2) для n° 883, т. е. для них $\frac{d^2y}{dn^2}>0$ (где y есть или r или $\log r$) или есть величина положительная, как это и видим в большинстве ранее приведенных уравнений для $\log r$. Но некоторые части кривых — от пертурбаций — представляют выпуклость, особенно ясно видную в логарифмической кривой,[1] т. е. тогда $\frac{d^2(\log r)}{dn^2}$ становится отрицательной. Если бы эта перемена знаков второй производной от $\log r$ по n зависела от каких-либо погрешностей отсчетов, то она не могла бы распространяться на несколько наблюдений сряду и была бы неправильно рассеяна в целой совокупности определений, повторялась бы всюду и вообще носила бы иной характер, чем замечаемый в действительности. Опыт же показывает, что встречаются наблюдения или обширные их доли, где ничего подобного нет, где все время вторая производная от $\log r$ положительна и стройность изменений ничем не нарушается. Так, в наблюдениях n° 883 (§ 10) от начала их

[1] Кривые $\log r$ по n ближе — чем кривые r по n — приближаются к прямым, т. е. имеют меньшую кривизну, а потому в них переход от вогнутости к выпуклости заметен и при малых пертурбациях.

до $n=45$ нет таких крупных отступлений, при которых вторая производная становится отрицательною или столь близкою к нулю, что кривую можно заменить, в пределе точности опытов, прямою, т. е. все время вторая производная положительна, т. е. в формуле

$$\log r = A + Bn + Cn^2$$

при C стоит (+) плюс. Только в дальнейших частях наблюдения от $n=50$ до $n=120$ части кривой $\log r$ имеют при C минус (—), т. е. местами кривая выпукла, а не вогнута. Но и здесь все же замечается в целом общая вогнутость, т. е., если бы удалось для r или для $\log r$ выразить от $n=1$ до $n=126$ всю совокупность наблюдений сплошною общею формулою,[1] вторая производная для $\log r$, как и для r, вышла бы положительною. Об этом можно судить по данным опыта, взяв не части, а все наблюдение в целом и находя вторые конечные разности приращения r или $\log r$ по мере увеличения n. Так, для п° 883, взяв данные чрез $n=60$, имеем прямо из опыта (даже без сглаживания):



Черт. 2. Абсциссы n, ординаты для нижней кривой (+): величины сглаженных отклонений r; для верхней кривой ×: логарифмы отклонений.

$n=$	3	63	123
$r=$	80.95	23.50	8.94
$\log r=$	1.90822	1.37107	0.95134

Первая конечная[2] разность Δ' (для $n=60$) для r и для $\log r$, как всегда, получается отрицательною:

[1] Мы увидим далее, что такое общее выражение для всякого наблюдения (помимо пертурбаций) может быть найдено и имеет вид:

$$r=\frac{r_0}{\left(1+\frac{cr_0}{d-1}\right)d^n-\frac{cr_0}{d-1}},$$

где r_0 для данного случая близко к 86.74 div., d — к 1.0135 и c к 0.00016. При этом вторая производная (или вторая конечная разность) для и $\log r$ положительна — от $n=1$ до $n=126$.

[2] Т. е., как само собою разумеется,

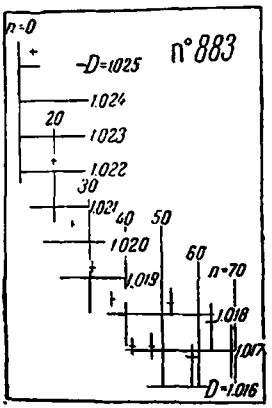
$$\Delta'=\frac{r_a-r_b}{a-b} \quad \text{и} \quad \Delta'=\left(\frac{r_a-r_b}{a-b}-\frac{r_b-r_c}{b-c}\right)\Big/(a-c);$$

$$\Delta'(r) = -57.45 \quad \text{и} \quad -14.56$$
$$\Delta'(\log r) = -0.53715 \quad \text{и} \quad -0.41973.$$

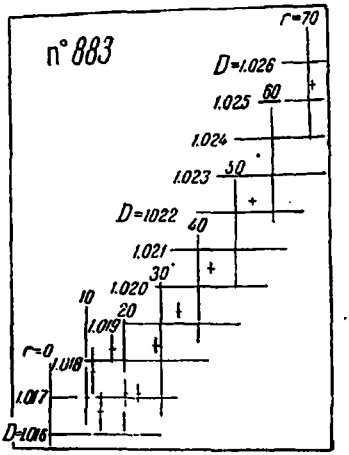
Вторая конечная разность — положительна:

$$\Delta''(r) = +26.88 \quad \text{и} \quad \Delta''(\log r) = +0.05871.$$

Это показывает, что в общем целом декремент все время уменьшается при возрастании n, хотя и есть части наблю-



Черт. 3. Абсциссами служат n (счет элонгаций) в набл. n° 883 (§ 10), а ординатами — величины декремента D, с означением «вероятной» в них погрешности.



Черт. 4. Графическое изображение зависимости декрементов D (они отложены по ординатам) от отклонений r (отложены по абсциссам). Вероятная погрешность D выражена вертикальными линиями, величина которых возрастает по мере уменьшения r (§ 15).

дений, где он возрастает при возрастании n. Вот эти-то части мы называем «пертурбациями».

Прежде чем идти немного далее в их рассмотрении, покажем, что встречаются наблюдения (даже при небольших r и при большой чувствительности),[1] в которых нет

мы приняли в примере для упрощения $a=0$, $b=1$, $c=2$, т. е. вообще $x = \frac{n-3}{60}$, а потому для первых разностей в знаменателе стоит 1, а для вторых 2.

[1] А при этих условиях в величине отсчетов r и в декременте можно ждать наибольших погрешностей, а следовательно, и наибольших отступлений от истинной законности и стройности данных.

пертурбаций и вторая производная или вторая конечная разность — положительна. Для примера возьмем сглаженные значения r из наблюдения, записанного под n° 957 (подлинные числа будут даны далее):

	$n=$	6	11	16	21	
По наблюдению	$r=$	14.69	11.35	8.77	6.90	div.
Сглаженные	$r=$	14.72	11.35	8.79	6.89	»

Малая разность между сглаженными и наблюденными r уже показывает, что все течение явления шло с большою стройностью. Для указанных n:

$\log r$ (сглаж.) $=$	1.16791	1.05500	0.94399	0.83822
Первая конечная разность,[1] $\Delta' =$		—0.11291	—0.11101	—0.10577
Вторая » » , $\Delta'' =$		+0.00095	+0 00262	

Не должно, однако, упускать из вида, что при малых r погрешность δ (§ 2) отсчета элонгаций, сложенная с погрешностью, несомненно, существующею в определении равновесий, достигая величины ± 0.10 div., уже может оказать столь большое влияние на декремент или на первую и особенно на вторую производную, что истинный смысл явления исказится и вторая производная вместо положительной выйдет отрицательною. Для примера достаточно в вышеприведенных значениях сглаженных r сделать соответственные изменения на ± 0.10 div., а именно, оставляя начальное и последнее числа (для $n=6$ и 21) прежними, увеличим средние на $+0.10$ div.:

$n=$	6	11	16	21	
$r=$	14.72	11.45	8.89	6.89	div.

Тогда получаются обе вторые конечные разности для $\log r$ (—0.000405 и —0.000385) отрицательными, хотя и малыми.

Из этого примера очевидно, во-первых, что даже погрешности в r или в отсчете элонгаций при малых разностях в n (как здесь, на 5 или даже на 7 и 11) могут извращать знак второй производной для $\log r$, если данные взяты при малых размахах, во-вторых, что при больших размахах погрешности, возможные в r, не способны извратить знака при второй производной и, в-третьих, что для суждения об истинном знаке второй производной необходимо руководствоваться, для избежания влияния погрешностей, возможных в r, или тем, что дают наблюдения при значительных разностях n, или данными, полученными при больших r,

[1] Для $n=5$, потому что n даны чрез 5.

т. е. при больших размахах. А так как в этих последних случаях вторая производная для $\log r$ всегда получается положительною, то и должно заключать, что в норме, при правильном и стройном ряде колебаний весов, *декремент всегда уменьшается при уменьшении размахов r или при возрастании n* (см. черт. 3 и 4). Этот вывод подтверждается всем тем, что дали дальнейшие наблюдения (§ 12 и сл.).

Ясное представление о неправильностях, считаемых нами за «пертурбации», получится, если мы теперь убедимся в том, что есть случаи, когда декремент с уменьшением r или с возрастанием n не уменьшается, а возрастает, и притом столь последовательно и значительно, что это не может быть объяснено одними возможными погрешностями наблюдений. Для демонстрации обратимся опять к п° 883, так как в нем (табл. на стр. 469—470) есть много частей, для которых выражения $\log r$ показывают случаи отрицательной второй производной. Рассмотрим для этого данные от $n=70$ до $n=80$. Уже чертеж 1-й (стр. 483) показывает, что в этой части наблюдений нет такой полной стройности, какая замечается в начальных частях колебаний. Декременты, взятые по наблюденным r,[1] здесь изменяются неравномерно, как видно из прилагаемой таблицы, где в строке 1) даны n, в строке 2) r и в 3) $(D-1)10^4$.

1)	$n=$	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
2)	$r=$	21.25	20.97	20.68	20.51	20.16	19.65	19.15	18.75	18.45	18.33	18.15
3)	$(D-1)10^4=$	116	137	111	116	205	260	237	188	114	82	142

Здесь видно, что декремент в начале и конце был от 1.0082 до 1.0142, в среднем — около 1.0117, а при $n=75$ сразу возрос до 1.0260, чего нельзя объяснить погрешностью отсчета. Действительно, исходя из начальных данных, если примем средний декремент постоянным и равным 1.0117, то всю совокупность можно выразить равенством

$$\log r = 1.3267 - 0.00505\,(n - 70).$$

Тогда для первых четырех n получаются r, очень близкие к наблюденным (21.22, 20.97, 20.73 и 20.49), но для $n=75$ формула дает 20.02 div., а наблюдено 19.65 div., так что получено менее на 0.37 div. Совокупность 4 первых из записанных наблюдений, выраженная в формуле, точно так же дает для

[1] Декремент для каждого r_n рассчитан так: разность $\log r_{n-1} - \log r_n$ дает $\log D$ для перехода от r_{n-1} и r_n, разность $\log r_n - \log r_{n+1}$ дает $\log D$ для перехода от r_n к r_{n+1}, а среднее из обоих $\log D$ я считаю соответственным r_n.

$n=80$ отклонение $r=18.89$, а наблюдено 18.15; разность расчета от опыта опять положительна и $=0.74$, но эта разность уже не должна быть сама по себе принимаема в соображение, потому что если при $n=74—76$ r — менее должного, а декремент более нормы, то при $n=80$ должно уже иметь r менее разочтенного по первым наблюдениям. Так что сущность «пертурбации», здесь происшедшей, выражается в быстром возрастании декремента, зависящем от того, что произошло при $n=75$. Если бы разность была не более ± 0.1, даже ± 0.2 div., можно было бы подозревать погрешность отсчета, но ею уже никак нельзя объяснить ни наблюдения при $n=75$, ни (и это всего важнее) данного при $n=80$. Погрешность отсчета может портить единичный декремент на всю величину, разочтенную в § 2, но не может влиять на последующие отсчеты элонгаций и на дальнейшие r. Здесь же, как и во всех случаях «пертурбаций» в дальнейших отсчетах, замечаются последствия пертурбаций. Для того, чтобы яснее понять пертурбации, должно обратиться к данным для декрементов, выводимых из совокупности наблюдений n° 883 (стр. 473). Они показывают, что такого малого декремента, как 1.0117, нигде в этих наблюдениях не встречается, так как во все продолжение их декремент изменяется между пределами 1.0254 и 1.0160. Следовательно, декремент, по которому мы производили выше расчет (1.0117), не верен или не соответствует всему ряду данных. А он выведен из начальных и конечных данных, а потому причину неправильности в изменении D должно столько же искать в начальных и конечных наблюдениях, сколько и в средних из взятых (n от 74 до 76). Дело выходит сложнее того, каким оно представляется с первого взгляда,[1]

[1] По первому впечатлению я составил себе представление о «пертурбациях» как об изменениях нормальных колебаний, которые происходят только под влиянием начального размаха и действующих беспрерывно: массы, ее инерции и сопротивлений всякого рода, тогда как при пертурбациях происходит временное изменение, под влиянием почти моментальных (временно-влияющих и внешних) сил, которые можно уподобить толчку, происходящему, например, от дуновения воздуха (см. опыты n° 866 и n° 917, стр. 442, 447), или от временного изменения веса, могущего происходить от временного изменения плотности воздуха на одной стороне весов в большей мере, чем на другой, от временной разности в длине плеч коромысла (от бокового нагрева), от сотрясения и тому подобных причин. Все эти гипотезы можно было бы подвергнуть испытанию, но у меня и моих усерднейших сотрудников Ф. П. Завадского и В. Д. Сапожникова, до сих пор, за множеством более настоятельных работ, не оказалось такого большого времени, какое необходимо для подготовки и выполнения подобных опытов. Но если мне позволят время, силы и условия и если у моих сотрудников также они окажутся, я наметил много

но я не считаю возможным входить в дальнейшие подробности, касающиеся существа замеченных явлений, потому что этот новый, но побочный, предмет требует специальной разработки. Однако сделаю еще несколько отрывочных замечаний, касающихся «пертурбаций», замечаемых в вышеописанных наблюдениях.

В наблюдениях n° 884 замечается немалое число явных пертурбаций, особенно в областях, отвечающих $n=40$—60 и $n=75$—100 и единичных, например, при $n=122$. Чтобы дать ясное представление о местных изменениях декремента (зависящих от пертурбаций) в этих наблюдениях, привожу таблицу декрементов, как разочтенных по сглаженным, так и данных на стр. 476, заметив, что для $n=3$ по интерполированию первых пяти r получается $D=1.0290$.

n	D	n	D	n	D	n	D
6	1.0255	36	1.0186	66	1.0176	96	1.0191
9	235	39	183	69	179	99	197
12	222	42	189	72	176	102	187
15	219	45	191	75	174	105	163
18	213	48	186	78	199	108	171
21	201	51	189	81	192	111	158
24	199	54	193	84	191	114	143
27	209	57	189	87	192	117	148
30	201	60	170	90	200	120	148
33	189	63	165	93	196	(n° 884)	
Среднее 1.0214		Среднее 1.0184		Среднее 1.0187		Среднее 1.0170	

опытов с точными весами, и среди них упомянутые выше опыты, вероятно, найдут свое место, так как сочетания столь благоприятной обстановки, как в нашей Главной палате, для производства точнейших взвешиваний едва ли можно скоро достичь в ином месте, особенно по той причине, что наша весовая комната приноровлена к превосходному постоянству температур, в ней единовременно помещены многие точные весы, наблюдаемые без приближения наблюдателя, и количество платино-иридиевых гирь позволяет иметь нагрузку неизменную и занимающую малый и почти одинаковый объем (плотность однообразна). Этими замечаниями я желал бы объяснить то обстоятельство, что говорю о «пертурбациях» лишь кратко и лишь на основании наблюдений, а не особых для их разъяснения назначенных опытов. Без них же мне кажется рискованным входить в подробности, касающиеся «пертурбаций», которые можно найти почти во всяком продолжительном наблюдении над колебаниями весов.

Декремент, очевидно, если судить по средним его величинам, падает, но сильная пертурбация около $n=90$ влияет на то, что в двух средних группах извращение стройности изменений выразилось совершенно явно. Сличение декрементов в n°n° 883 и 884 показывает, что при значительных r, т. е. при начальных размахах, оба ряда дают декременты очень близкие; объяснением этому служит — сравнительно малая относительная погрешность D при больших r. Разность же в дальнейших декрементах объясняется как погрешностями отсчетов (§ 2), так и пертурбациями.

Чтобы иметь возможность замечать пертурбации при небольшом числе наблюденных элонгаций, например при взвешиваниях, что не может оставаться без влияния на их результат, считаю полезным обратить внимание на одно явление, составляющее следствие из выведенного выше общего понятия о ходе явлений колебания весов. Кривые, выражающие изменение (по n) размахов R или отклонений r, или их логарифмов, всегда вогнуты (выпуклость обращена к оси n или к началу координат), а потому, если взять три соседних или равно друг от друга отстоящих (судя по разности соответственных n) данных, например r или log r, то полусумма крайних больше среднего во всех местах, где нет пертурбаций и местной выпуклости кривой. Там же, где упомянутая полусумма равна или менее, чем среднее данное (особенно, если разность превосходит возможные погрешности наблюдений), должно признать пертурбацию, хотя для некоторых пертурбаций замечается, напротив того, что полусумма крайних чересчур превосходит среднее данное. Так, например, в n° 883 $r_{73}=20.51$, $r_{75}=19.65$, их полусумма = 20.08, и она оказывается ниже r_{74}, которое по наблюдению = 20.16, что уже указывает на пертурбацию, рассмотренную нами выше. В логарифмах это еще виднее.[1] При нормальном же течении явления среднее всегда меньше полусуммы крайних. Возьмем для примера из n° 883:

$n=$	3	4	5	6	7
$r=$	80.95	78.69	76.58	74.52	72.67
Полусумма соседних =		78.76	76.62	74.62.	

Указав на некоторые выводы из предварительных наблюдений над многими последовательными размахами, обратимся затем к основным нашим наблюдениям, в которых записы-

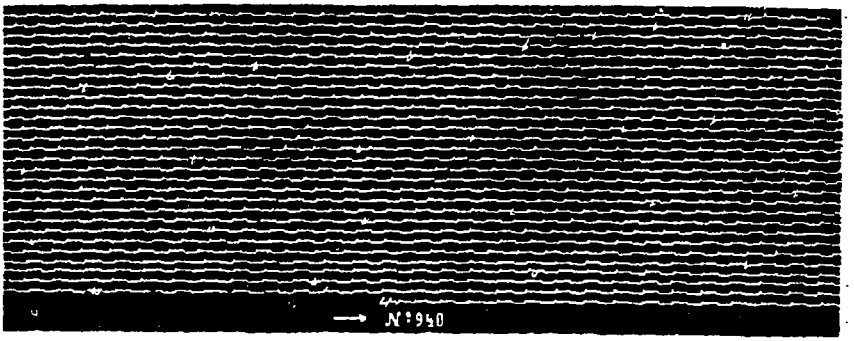
[1] [Логарифм] полусуммы крайних здесь = 1.3027, а по наблюдению log $r_{74}=1.3045$.

валось не только по 50 элонгаций, но и определялись времена размахов во все продолжение наблюдений.

§ 12. Сведения, полученные о продолжительности одного размаха (§ 7), показывают, что между временами и декрементами колебаний существует очень тесная связь. Поэтому, получив вышеизложенные первоначальные сведения, показавшие много неожиданного и то направление, в котором следовало продолжать исследование, я организовал ряд наблюдений — на разных весах и в разных условиях — не только над элонгациями, число которых ограничено было, ради удобства наблюдателей, 50—40 (и даже 32 размахами), но и над временами, чтобы дополнить опытные сведения о колебаниях. При 15 из наблюдений, произведенных в эту эпоху и описываемых в этом параграфе, единовременно велась запись элонгаций и времен размахов или, правильнее, времен полных колебаний, содержащих по 2 размаха. Дело в том, что хорошо можно замечать[1] время только около пункта, отвечающего равновесию, а именно времена прохождения чрез какую-либо условно принятую точку шкалы, лежащую около средины размахов. Здесь скорость наибольшая, а потому момент прохождения схватывается более отчетливо, чем в других частях размаха. Но избираемая (перед началом наблюдений, по первым размахам) точка шкалы, по которой велась запись времен, не могла делить размаха на две равные части, а потому обратное прохождение чрез эту точку не могло выразить времени одного размаха, когда же опять, при новом размахе, коромысло проходит в первоначальном направлении, отмеченное время выразит время 2 размахов или 1 полного колебания с такою степенью точности, какая возможна для субъективного отсчета и для равномерности немедленной передачи сигнала записывающему (регистрирующему) прибору. Сигналом служило в наших определениях надавливание наблюдателем (Ф. П. Завадским или В. Д. Сапожниковым) каучуковой трубки, находящейся под рукой около того места (или той отсчетной трубы), с которого ведется запись элонгаций. Чрез это надавливание, производимое в момент прохождения чрез условную точку (всегда в одном направлении), воздух в каучуковой трубке сдавливается, и это заставляет — на другом конце этой же трубки — двигаться легкий (из бумаги) указатель, который при этом

[1] Но и то лишь при размахах не очень малых (в п° 938 и 930 они под конец достигали 3—4 div.), так как при малых скорости около средины малы.

движении и пишет черту на боковой поверхности вращающегося цилиндра в известном хронографе Марея. Проводимая черта, в наших наблюдениях, пересекает зигзагообразную линию, которую непрерывно пишет другой рядом стоящий указатель, отмечающий время в секундах. Для этого он снабжен электромагнитом и соединен в гальванической цепи с реле и с точными астрономическими часами, ход которых совершенно известен (по Пулковскому времени и по сличениям, произведенным Ф. И. Блумбахом), и снабжен секундным прерывателем. Знаки упомянутых сигналов и непрерывная черта, означающая секунды, пишутся на закопчен-



Черт. 5. Воспроизведение одной из диаграмм хронографа Марея. Стрелка показывает направление, в котором при наблюдениях вращается барабан хронографа. Зубчатая спираль получена от реле, сообщенного со стенным хронометром, и ее зубцы отвечают секундам. Пересекающие знаки соответствуют временам прохождения весов чрез пункт шкалы, близкий к равновесию. Размер в [4] раза менее натурального.

ной бумаге, нанесенной на боковой поверхности вращающегося цилиндра, который в то же время подвигает записывающие указатели, так что на цилиндре получается спираль с отмеченными секундами и с нанесенными среди них знаками сигналов. Когда наблюдение кончено, срезанная бумага (после закрепления или фиксирования лаком из пульверизатора) дает все необходимое для определения времен T (секунд), протекших от первого прохождения, отвечающего времени между первою и второю записями элонгаций, т. е. соответствующему $n = 1.5$, до времени прохождения, соответствующего $n = 3.5$, 5.5 и так далее, до конца наблюдений. Общий вид такой записи виден на прилагаемой фототипии [черт. 5], отвечающей наблюдению n° 940, при уменьшении (в камере фотографиче-

ского прибора) ровно в $2^1/_2$* раза по линейным измерениям. Чтение подобных записей производилось г-жами О. Э. Озаровской и Е. Ф. Эндимионовой, наблюдавшими за всем ходом хронографа, частью же А. Н. Доброхотовым. Установкою хронографа и соединений его с астрономическими часами заведывал Ф. И. Блумбах, которому отчасти помогал в этом деле Н. А. Смирнов. Некоторые знаки вышли недостаточно ясными, и там в прилагаемой таблице поставлены числа в скобках, разочтенные по соседним. Далее приводится таблица (стр. 500—501) времен по записи хронографом, считая за нуль, как было ранее (§ 7) и принято далее, время при прохождении от 1-й элонгации ко 2-й — что означено чрез $n = 1.5$ и считая остальные прохождения соответствующими $n = 3.5$, 5.5 и т. д.[1]

Сверх 15 рядов наблюдений, сопровождавшихся полною хронографическою записью, по мере свободного времени от других текущих работ и при разных особых обстоятельствах, встречавшихся в ходе исследований, или при изготовлении необходимых приспособлений (например, больших цилиндров, испытательных подушек для средней призмы весов и т. п.), произведены были еще и многие другие наблюдения над элонгациями и временами размахов, но они описываются в других параграфах.[2] Здесь же я считаю необходимым привести данные для элонгаций для 5 наблюдений, произведенных на весах Неметца, хотя при них и не велась запись по хронографу Марея, так как эти 5 наблюдений стоят в тесной связи с некоторыми из 15 наиболее полных наблюдений, которые здесь излагаются. Чтобы избежать повторений и указать причину, по которой произведено каждое из этих 20 наблюдений, считаю наиболее удобным сделать сперва первый общий их обзор, располагая описание по порядку номеров журнала взвешиваний, хотя в дальнейшем рассмотрении я уже не стану следовать этому, так сказать, хронологическому порядку.

По требованиям взвешиваний на весах Рупрехта, производившихся при восстановлении прототипов, необходимо было сообщить этим весам очень большую чувствительность

---

[1] Должно заметить, что единовременно с хронографом Марея начало и конец наблюдений ($n = 1.5$ и 49.5) отмечали и стрелками ручных хронографических часов. Показания обоих хронографов почти всегда сходились до ± 0.2 сек., но предпочитать следовало, конечно, запись на хронографе Марея.

[2] А часть опытов отложена до более свободного времени и до другого раза, чтобы не задерживать печатания всего отчета.

* Черт. 5 на стр. 493 еще уменьшен в $1^1/_2$ раза. [*Прим. ред.*].

(1 div. = 0.024 мг), и при таком условии произведены были главные наблюдения, описанные в § 10. Могло казаться, как и оправдалось отчасти, что эта крайняя чувствительность служила причиною появления многих пертурбаций (§ 11), а потому было желательно собрать данные о колебаниях при меньшей чувствительности. Уменьшить ее на весах Рупрехта легко, но текущие взвешивания требовали ее сохранения, а потому мы перешли к весам Неметца, на которых в то время (начало 1898 г.) 1 div. отвечал 0.050—0.055 мг, и на них тогда произведены были наблюдения за n° n° 917—933 из числа далее описываемых. Но при наблюдениях n° n° 936—940 в этих весах Неметца чувствительность была поднята до того, что 1 div. = 0.032 мг, чтобы уловить изменения в декременте и временах размахов, определяемые переменою чувствительности, о чем подробнее будет сказано в одном из следующих параграфов. Но для связи с прежними наблюдениями были сделаны полные наблюдения n° n° 934 и 935 с весами Рупрехта. А для того, чтобы получить более полное понятие о влиянии на ход явлений самого устройства весов (вéса коромысла, способа наблюдений размахов и т. п.), было сделано два ряда (n° n° 956 и 957) полных наблюдений[1] на малых весах Эртлинга, допускающих нагрузку не более 2 г. На весах же Неметца почти во всех наблюдениях нагрузкою служили платино-иридиевые прототипы фунтов, которые в то время систематически между собою сравнивались. Но при n° n° 934 и 935 (весы Рупрехта) взяты были фунты красной меди, а в n° n° 932 и 933 (весы Неметца) нагрузки никакой не было, чтобы яснее заметить влияние веса нагрузки на ход явлений колебания.

Число рядов значительно увеличивается затем еще следующими тремя причинами: 1) необходимостью, хотя в некоторых случаях, по возможности повторенных наблюдений[2] — для устранения сомнений в точности выводов,[3] 2) желанием вы-

---

[1] Третьего из наблюдений на этих весах (n° 956) я не привожу, потому что оно было сделано, ради опыта, тотчас после того, как дверцы весов отворялись и руками, при помощи щипцов, переложены нагрузки, чего обыкновенно не делается (ждут уравнивания температур) при наших взвешиваниях.

[2] Однако же полной тождественности условий, особенно размеров первого размаха и плотности воздуха, по условиям дела нельзя было достигать, так как на колебаниях видно влияние даже очень малых разностей в условиях взвешиваний.

[3] Так, например, следующие пары наблюдений почти повторяют друг друга по величине начальных размахов и другим условиям: n° n° 917 и 918, 932 и 933, 929 и 931.

яснить — по возможности, при тех же обстоятельствах — влияние величины начальных размахов[1] и 3) желанием сделать наблюдения под уменьшенным давлением,[2] чтобы получить более определенное понятие о влиянии плотности воздуха на ход явлений колебания весов, для чего особенно пригодны имеющиеся у нас весы Неметца, так как они закрыты стеклянным колоколом и приноровлены для наблюдений в безвоздушном пространстве.[3]

Так объясняется большое количество сделанных наблюдений, из которых 20 здесь приводятся (без всяких пропусков,[4] с немногими заметками, так как расследование наблюдений содержится в следующих параграфах) в виде фактического материала, могущего служить исходом для более точного, чем было доныне, выяснения законов колебания весов.

Обзор наблюдений, представленный в табл. 1, прямо позволяет видеть многие стороны предмета, а именно зависимость как времен T, так и убыли размахов (столбцы R_1 и R_m) друг от друга и от чувствительности, от свойства весов, их нагрузки, плотности воздуха и величины размахов. Эта поучительность первоначального знакомства с наблюдениями заставляет нас привести все опытные данные, до них относящиеся, так сказать, в сыром виде прежде, чем излагать их разбор. В табл. 2 сведены наблюдения, сделанные при помощи хронографа Ма ея, над временами качаний T в секундах среднего астрономического времени. Судя по указанному выше способу наблюдений, можно думать, что во временах могут содержаться погрешности, зависящие от четырех причин: 1) от неполного совпадения той черты, по которой дается сигнал времени, с чертою, отвечающею равновесию (эта погрешность очень мала) при наблюдении двух размахов, 2) от невозможности полного совпадения между временем, замечаемым глазом, и сигналом, передаваемым рукою, надавливающею каучуковую трубку, 3) от невозможности уловить глазом точный момент прохождения чрез условную черту, что особенно важно, когда скорости в средине размаха малы, т. е., когда размахи

---

[1] Так, например, в п° п° 929, 930 и в п° п° 936, 938 начальные размахи были значительно изменяемы (см. табл. 1).

[2] Сюда относятся 6 наблюдений от п° 921 до п° 928.

[3] Ряды наблюдений, сюда относящиеся, только частью приводятся в этом § 12 и по мере возможности будут восполнены в Главной палате так как условия, подобные нашим, вообще трудно достижимы.

[4] Кроме того, о котором упомянуто в выноске 1 на стр. 495.

незначительны, как в n° n° 938 и 930, и 4) от неточности чтения диаграмм или записей хронографа (эта погрешность едва ли в среднем превосходит 0.05 секунды, а в большинстве данных она, без сомнения, менее ± 0.02 секунды, так как чтение диаграмм двумя лицами давало обыкновенно меньшие разности времен). Совокупность всех этих, а особенно второй и третьей, погрешностей ведет к тому, что в большинстве данных можно подозревать возможность ошибки

$$\text{от } \pm 0.10 \text{ до } \pm 0.20 \text{ сек.},$$

но для данных с малыми размахами она может превосходить даже $\pm 2, \pm 3$ сек. как видно, например, из наблюдений n° 938, где при средней длительности размаха в 37 сек., величина размаха составляла под конец всего около 3 div., следовательно, наглаз могла делиться лишь на 30—60 частей, что и могло давать во временах погрешности в целых секундах. Сверх этих погрешностей в записях времен, по всей вероятности, есть свои пертурбации, но я не считаю необходимым особо останавливаться над этим предметом, так как во всех наблюдениях, здесь описываемых, они, говоря вообще, менее, чем в наблюдениях § 10.

Что касается до наблюдений над элонгациями, то они даются для всех рядов в табл. 3, в столбцах под знаком l. Сверх элонгаций приведены всегда разочтенные из них отклонения r, т. е. разности между элонгациями и положением равновесия L. Эти последние рассчитывались по формуле

$$L_n = \frac{l_{n-2} + 4l_{n-1} + 6l_n + 4l_{n+1} + l_{n+2}}{16}$$

и относились к среднему n. В виде примера в n° n° 936—940 приведены и самые L, но в других рядах они не даны, ввиду легкости их расчета, отсутствия в них прямой надобности для расчета колебаний весов и в виду того, что небольшие изменения, встречающиеся в L, всегда того же рода и размера, как в приведенных трех примерах (n° n° 936—940).

В отношении меры погрешностей в элонгациях и их пертурбаций все необходимое сказано в §§ 2 и 11.

Обобщения и выводы из наблюдений, достигнутые мною, касательно времен, рассматриваются в следующем § 13, но главным предметом исследования служили отклонения r, выводимые из них декременты D и законы, их связывающие, что рассматривается в § 14 и следующих параграфах.

Табл

Общий обзор 20 наблюдений над колебаниями

n°	1898 г. число, месяц	Час	Кто [1]	Весы [2]	Нагрузка [3] в граммах	Первый размах,[4] R_1 div.
917	6 февраля	3.43 h	З. и С.	Нем.	607.4	97.8
918	6	4.95	З. и С.	Нем.*	607.4	91.6
921	12	1.48	З.	Нем.**	607.4	120.4
922	12	2.17	З.	Нем.**	607.4	73.4
923	12	2.82	З.	Нем.**	607.4	30.1
926	17	11.50	З.	Нем.**	607.4	101.5
927	17	12.05	С.	Нем.**	607.4	37.1
928	17	12.67	З.	Нем.**	607.4	97.9
929	17	4.37	С.	Нем.	607.4	101.0
930	17	4.90	З.	Нем.	607.4	22.7
931	17	5.48	С.	Нем.	607.4	110.0
932	18	11.38	С.	Нем.	0	27.8
933	18	11.88	З.	Нем.	0	33.0
934	19	11.83	З.	Рупр.	427.3	59.9
935	19	1.17	С.	Рупр.	427.3	71.2
936	19	2.97	З.	Нем.	607.4	105.5
938	19	3.88	С.	Нем.	607.4	22.3
940	20	3.73	З.	Нем.	607.4	145.9
957	10 марта	5.07	С.	Эртл.	0.5	37.1
958	10	5.43	З.	Эртл.	0.5	44.9

[1] Буквою З. означена фамилия Ф. П. Завадского, буквою С. — В. Д. Сапожникова.

[2] Нем. — означает, что наблюдение производилось на весах Неметца, Рупр. — Рупрехта, Эрт. — Эртлинга (Oertling). Первые 2 назначены для грузов до 1000 г, а третьи — до 2 г. Все эти весы подробно описаны в одной из следующих глав. Когда при знаке Нем. подставлена звездочка (Нем.*), это значит, что весы были во время взвешиваний герметически заперты, а когда поставлено две звездочки (Нем.**), тогда пред взвешиванием выкачивали воздух и давление определялось по манометру до и после наблюдения качаний.

[3] Нагрузка означена на каждой стороне или на каждой чашке. Обыкновенно наблюдения велись попутно при текущих сравнениях платино-иридиевых фунтов, вес которых около 409.51 г. Они при взвешиваниях ставились на подставки из горного хрусталя. Вес каждой около 17.75 г, а потому нагрузка (без веса подвесок, чашек и коромысла) при весах Рупрехта (где переносится только груз с его подставкою) около 427.2 г. Когда же взвешивание идет на весах Неметца, по их устройству, переносятся с нагрузкою и подвижная чашка самих весов, которая весит около 106.2 г. Сверх того, для центрирования, на этих весах применяется при взвешивании фунтов особый кружок (на каждой чашке), вес которого около 74.05 г, а потому полную нагрузку каждой части этих весов при взвешивании фунтов должно считать около: 410.51 + 17.75 + 105.02 + 74.05 г, или около 607.4 г. Когда (например, n° 932) означена нагрузка = 0,— весь этот груз снят с весов. Очевидно, что качания происходят под влиянием всего веса, давящего на

ица 1

весов. (Подробности в табл. 2 и 3)

Число записанных элонгаций, m	Последний размах,[5] R_m div.	Время $m-2$ размахов,[6] T секунд	Чувствительность,[7] 1 div.= мг	Вес литра воздуха e,[8] в граммах
50	15.5	1484.0	0.053	1.196
50	15.1	1490.0	0.053	1.196
50	22.2	1480.0	0.055	0.230
50	16.0	—	0.055	0.236
40	9.9	1143.6	0.055	0.236
50	22.7	1485.5	0.055	0.106
50	8.9	1446.2	0.055	0.108
50	20.1	1464.5	0.055	0.108
50	19.3	1466.5	0.053	1.210
50	5.6	1444.1	0.053	1.210
50	19.7	1461.9	0.053	1.210
50	8.5	1331.1	? 0.05 ?	1.205
50	10.1	1335.5	То же	1.205
50	24.3	2146.2	0.024	1.201
50	29.0	2139.1	0.024	1.201
50	10.4	1793.2	0.033	1.202
50	3.2	1767.3	0.033	1.202
50	14.9	1800.2	0.035	1.207
32	8.2	519.1	0.0084	1.184
32	10.1	523.5	0.0084	1.184

центральный нож, а именно (сверх нагрузки двух чашек): вес коромысла + вес подвесок. Зависимость декремента от этого общего веса колеблющейся массы рассматривается в одном из дальнейших параграфов.

[4] Достаточно одного взгляда на числа нашей таблицы, чтобы видеть, как сильно зависят убыль размахов (декремент, видный по разности $R_1 - R_m$) и их времена от величины первого размаха R_1.

[5] Первый размах R_1, уменьшаясь, дает под конец наблюдений R_m, и разность логарифмов этих чисел, деленная на число размахов, дает логарифм общего среднего декремента.

[6] Началом для наблюдения времен служил промежуток между наблюдением элонгаций l_1 и l_2, отвечающий $n = 1.5$, и концом между наблюдением предпоследней элонгации l_{m-1} и последней l_m, т. е. отвечающей, по нашему означению, $n = m - 0.5$, если всех элонгаций наблюдено m, а потому число всех размахов, для которых наблюдено указанное время, равно $m - 2$. В наблюдениях nº nº 917—923 времена определялись только по часам (§ 7), а потому их нет в табл. 2. В наблюдении nº 922 время наблюдалось только в конце (§ 7).

[7] Чувствительность выражается нами числом долей миллиграмма, отвечающих 1 div. (делению шкалы) весов. Очевидно, что чувствительность тем более, чем менее число, отвечающее 1 div., т. е. чувствительность = реципроку данного числа миллиграмм.

[8] Вес e литра воздуха определялся так, как сказано в одной из следующих глав.

Табл.

Записанные по хронографу Марея времена колебаний

n°	926	927	928	929	930	931	932
[n]							
1.5	0	0	*(0)*	0	0	0	0
3.5	62.49	60.85	*(61.49)*	61.70	60.55	61.83	55.86
5.5	125.24	121.63	123.00	123.80	121.25	123.60	111.92
7.5	187.49	182.63	184.53	185.90	181.90	185.34	168.00
9.5	249.90	243.13	246.08	247.20	242.50	246.76	223.78
11.5	312.11	303.51	307.60	*(308.62)*	302.90	308.36	279.43
13.5	374.33	364.16	368.82	370.05	363.25	369.60	335.48
15.5	436.69	424.74	430.30	*(431.55)*	423.55	431.15	391.27
17.5	498.74	485.28	491.45	493.05	483.90	492.22	446.92
19.5	560.61	545.41	552.66	554.35	544.30	553.42	502.27
21.5	622.73	605.73	613.63	615.25	604.25	614.54	558.26
23.5	684.61	666.32	674.89	676.65	664.80	675.36	613.92
25.5	746.49	726.49	735.84	737.55	724.65	736.27	669.48
27.5	808.24	786.71	796.90	798.70	784.80	797.13	724.86
29.5	870.09	846.85	857.74	859.35	845.15	857.75	780.36
31.5	931.60	906.78	918.61	920.65	905.15	918.42	835.86
33.5	993.43	966.79	979.36	981.30	964.80	979.26	891.04
35.5	1055.10	1026.69	1040.16	1042.30	1024.90	1039.75	946.70
37.5	1116.72	1086.79	1101.01	1102.75	1084.80	1100.04	1002.37
39.5	1178.32	1147.02	1161.58	1163.50	1144.90	1160.68	1057.73
41.5	1239.75	1207.02	1222.23	1224.15	1204.40	1221.14	1113.27
43.5	1301.81	1266.70	1283.88	1284.95	1264.70	1281.26	1167.92
45.5	1362.85	1326.56	1343.30	1345.45	1325.00	1341.74	*(1222.63)*
47.5	1424.09	1386.41	1403.86	1406.00	1384.55	1404.37	*(1276.99)*
49.5	1485.49	1446.21	1464.51	1466.55	1444.15	1461.98	*(1331.06)*

Повторяю опять: я не уверен в том, что извлек все возможное из собранных данных, а потому в этом параграфе и привел фактический материал, бывший в моем распоряжении,[1] чтобы и другие ученые могли располагать им для дальнейших выводов о колебании весов, наблюдаемом при точных взвешиваниях. Колебание лампады, говорит предание,

[1] До конца марта 1898 г., когда эта часть отчета приготовлена для печатания.

ница 2

весов в 15 наблюдениях, описанных в табл. 1

933	934	935	936	938	940	957	958
0	0	0	0	0	0	0	0
55.92	89.56	89.42	76.70	74.90	76.98	34.96	35.58
112.34	179.19	178.94	153.24	149.32	153.96	69.98	70.59
167.08	268.69	268.32	229.55	223.46	230.56	104.42	105.60
224.20	358.38	357.59	305.61	297.32	306.92	139.14	140.53
279.94	447.98	447.07	381.28	371.32	382.99	173.72	175.40
336.08	*(537.58)*	536.00	457.00	441.32	458.65	208.22	210.11
391.86	627.19	625.45	532.44	519.32	534.51	243.12	245.05
447.62	716.54	714.24	607.50	593.20	610.17	277.54	279.87
503.39	806.74	803.59	682.72	666.93	685.76	312.00	314.76
558.99	896.19	892.90	*(757.51)*	740.85	760.57	346.79	349.44
614.96	982.09	981.97	832.31	814.36	835.88	381.12	385.04
670.00	1074.69	1071.24	*(906.93)*	888.89	910.71	415.59	419.12
725.77	1164.76	1160.11	981.54	961.65	985.87	450.21	453.86
781.34	1253.91	1249.14	1055.98	1035.02	1060.51	484.54	488.66
837.06	1343.24	1338.15	1130.17	1108.02	1134.64	519.12	523.55
892.34	1432.34	1427.35	1204.49	1181.44	1209.17		
948.00	1516.91	*(1516.36)*	1278.17	1254.79	1283.99		
1003.34	1610.89	1605.38	1352.37	1328.43	1357.73		
1058.60	1700.19	1694.32	1426.17	1401.46	1431.82		
1114.17	1789.39	*(1783.32)*	1499.88	1474.32	1505.76		
1169.57	1873.89	1872.31	1573.52	1548.32	1579.36		
1225.16	1963.03	1961.20	1646.65	1622.32	1652.73		
1280.03	2057.19	2050.40	1720.04	1695.32	1726.54		
1335.51	2146.19	2139.07	1793.17	1767.32	1800.23		

послужило Галилею для обоснования учения о маятнике и тяжести. Исследуя колебания весов, я желал внести посильную лепту в сокровищницу знаний об основных предметах естествознания и тем содействовать усовершенствованию познаний о взвешиваниях, как об измерениях наиболее совершенных и касающихся таинственной области тяготения, сведения о которой, по моему мнению, могут усовершенствоваться и выясняться путем тщательного изучения колебаний, происходящих под влиянием тяжести.

Таблица 3

Элонгации l и рассчитанные из них отклонения r в 20 рядах наблюдений, описанных в табл. 1

(n)	n° 917		n° 918		n° 921		n° 922	
	l	r	l	r	l	r	l	r
1	265.00		262.6		290.75		186.2	
2	167.25		171.0		170.3		259.6	
3	259.5	44.86	258.0	42.46	285.0	56.11	189.6	34.20
4	172.0	42.61	175.0	40.47	175.0	53.83	256.6	32.83
5	255.2	40.65	254.0	38.61	280.3	51.41	192.25	31.46
6	175.65	38.80	178.5	36.81	179.8	49.18	253.8	30.12
7	251.45	37.11	250.3	35.06	276.25	47.23	194.7	29.0
8	178.7	35.58	181.7	33.50	183.75	45.21	251.7	27.98
9	248.2	33.90	247.25	32.10	272.25	43.36	196.75	26.95
10	182.0	32.32	184.3	30.80	187.1	41.77	249.65	25.98
11	245.3	31.04	244.6	29.53	269.1	40.22	198.6	25.07
12	184.4	29.76	186.7	28.36	190.2	38.68	247.8	24.10
13	242.5	28.39	242.25	27.19	266.1	37.23	200.55	23.19
14	186.9	27.21	189.0	26.04	193.05	35.81	246.15	22.42
15	240.25	26.23	240.0	24.99	263.3	34.47	202.1	21.58
16	189.0	25.12	191.0	23.98	195.6	33.20	244.4	20.75
17	238.3	24.18	237.95	22.99	260.8	32.06	203.6	20.03
18	190.9	23.16	192.9	22.04	197.7	31.00	243.0	19.39
19	236.2	22.22	236.1	21.18	258.6	29.91	204.8	18.80
20	192.5	21.44	194.5	20.39	199.8	28.89	241.8	18.19
21	234.6	20.67	234.5	19.59	256.6	27.89	206.0	17.62
22	194.0	19.89	196.0	18.94	201.8	26.93	240.75	17.12
23	233.0	19.13	233.25	18.29	254.75	26.00	207.0	16.61
24	195.4	18.47	197.4	17.55	203.75	24.98	239.7	16.10
25	231.7	17.81	231.8	16.88	252.75	24.08	208.0	15.60

(n)	n° 917		n° 918		n° 921		n° 922	
	l	r	l	r	l	r	l	r
26	196.7	17.21	198.6	16.29	205.3	23.33	238.7	15.10
27	230.6	16.69	230.6	15.71	251.2	22.57	209.0	14.58
28	197.8	16.08	199.7	15.21	206.8	21.84	237.7	14.17
29	229.25	15.36	229.65	14.71	249.75	21.09	209.7	13.78
30	199.2	14.73	200.8	14.14	208.3	20.38	236.8	13.34
31	228.2	14.26	228.6	13.69	248.4	19.69	210.45	13.04
32	200.15	13.77	201.6	13.29	209.7	19.04	236.25	12.72
33	227.2	13.29	227.7	12.79	247.25	18.51	211.25	12.29
34	201.05	12.84	202.65	12.27	210.8	17.89	235.45	11.94
35	226.3	12.45	226.75	11.86	245.95	17.31	211.9	11.58
36	201.75	12.06	203.35	11.50	211.8	16.82	234.7	11.28
37	225.4	11.60	226.0	11.18	244.9	16.25	212.4	10.94
38	202.6	11.22	203.9	10.89	213.0	15.66	233.9	10.63
39	224.7	10.86	225.3	10.43	243.85	15.23	212.8	10.45
40	203.4	10.41	204.75	10.12	213.75	14.83	233.45	10.17
41	223.8	10.03	224.7	9.79	242.9	14.29	213.4	9.93
42	204.0	9.78	205.5	9.43	214.8	13.87	233.1	9.73
43	223.3	9.48	224.1	9.19	242.25	13.57	213.95	9.38
44	204.7	9.15	205.95	8.93	215.5	13.14	232.4	9.16
45	222.75	8.91	223.5	8.65	241.3	12.71	214.2	8.95
46	205.15	8.69	206.45	8.38	216.2	12.38	231.75	8.65
47	222.3	8.45	222.9	8.05	240.65	12.09	214.6	8.53
48	205.7	8.15	207.1	7.79	216.8	11.73	231.5	8.29
49	221.7		222.5		239.8		215.25	
50	206.25		207.4		217.6		231.25	

[n]	n° 923		n° 926	
	l	r	l	
1	237.45		242.55	
2	207.3		141.05	
3	236.3	14.24	237.95	
4	208.3	13.77	144.8	
5	235.35	13.25	234.25	
6	209.35	12.80	148.35	
7	234.6	12.44	230.85	
8	210.15	11.98	151.3	
9	233.6	11.50	228.0	
10	211.0	11.08	153.85	
11	232.75	10.69	225.2	
12	211.65	10.42	156.4	
13	232.25	10.15	222.8	
14	212.25	9.86	158.7	
15	231.7	9.60	220.75	
16	212.8	9.28	160.7	
17	231.0	8.94	218.75	
18	213.4	8.66	162.4	
19	230.5	8.45	217.5	
20	213.8	8.21	164.0	
21	229.95	7.97	215.25	
22	214.2	7.78	165.6	
23	229.55	7.55	213.75	
24	214.7	7.30	166.85	
25	229.1	7.12	212.3	

[*Продолжение*]

	n° 927		n° 928	
r	*l*	*r*	*l*	*r*
	211.0		250.7	
	174.9		152.8	
47.46	209.5	16.97	246.35	45.74
45.64	176.15	16.34	156.75	43.83
43.82	208.2	15.71	242.7	42.20
42.06	177.3	15.22	159.8	40.62
40.48	207.3	14.76	239.3	38.88
39.04	178.35	14.14	163.15	38.29
37.71	206.0	13.58	236.35	35.92
36.37	179.25	13.12	165.8	34.61
35.01	205.0	12.68	233.7	33.30
33.78	180.0	12.30	168.35	32.06
32.60	204.2	11.89	231.3	30.88
31.52	180.8	11.51	170.65	29.76
30.52	203.5	11.21	229.15	28.78
29.51	181.4	10.86	172.5	27.84
28.58	202.7	10.47	227.2	26.87
27.77	182.1	10.13	174.4	25.95
26.99	202.05	9.81	225.4	25.02
26.10	182.75	9.49	176.3	24.07
25.20	201.45	9.21	223.6	23.28
24.43	183.25	9.00	177.75	22.53
23.76	201.05	8.78	222.0	21.73
23.10	183.75	8.51	179.25	21.06
22.36	200.5	8.25	220.75	20.42

[n]	n° 923		n° 926		n° 927		n° 928	
	l	*r*	*l*	*r*	*l*	*r*	*l*	*r*
26	215.0	6.97	168.85	21.72	184.25	8.00	180.65	19.66
27	228.75	6.78	211.1	21.12	200.0	7.76	219.25	18.99
28	215.4	6.54	169.5	20.46	184.7	7.53	181.8	18.45
29	228.25	6.35	209.75	19.82	199.55	7.35	218.15	17.89
30	215.7	6.15	170.65	19.28	185.0	7.17	183.0	17.23
31	227.8	6.02	208.7	18.77	199.1	6.95	216.8	16.59
32	215.75	6.01	171.65	18.29	185.35	6.80	184.15	16.07
33	227.65	5.84	207.75	17.79	198.8	6.64	215.8	15.56
34	216.2	5.65	172.7	17.27	185.7	6.45	185.2	15.03
35	227.4	5.55	206.75	16.80	198.4	6.25	214.8	14.62
36	216.45	5.35	173.6	16.33	186.1	6.06	185.9	14.26
37	226.9	5.14	205.8	15.91	198.05	5.87	213.95	13.77
38	216.7	5.04	174.35	15.50	186.5	5.69	186.9	13.34
39	226.7		204.35	14.99	197.75	5.57	213.25	12.98
40	216.8		175.3	14.58	186.7	5.47	187.7	12.57
41			204.2	14.33	197.5	5.33	212.4	12.13
42			175.8	14.02	187.0	5.16	188.55	11.74
43			203.4	13.57	197.15	5.00	211.7	11.41
44			176.7	13.16	187.25	4.91	189.2	11.07
45			202.7	12.83	197.0	4.82	211.0	10.73
46			177.4	12.45	187.5	4.67	189.8	10.52
47			201.9	12.07	196.7	4.55	210.65	10.27
48			178.05	11.80	187.65	4.49	190.5	9.89
49			201.4		196.6		210.0	
50			178.75		187.7		190.9	

[Продолжение]

[n]	n° 929		n° 930		n° 931		n° 932	
	l	*r*	*l*	*r*	*l*	*r*	*l*	*r*
1	257.0		217.15		258.2		198.05	
2	156.0		194.45		148.2		170.25	
3	252.35	47.13	216.3	10.79	252.75	51.08	196.9	13.07
4	160.0	45.16	195.0	10.43	152.8	48.75	171.15	12.69
5	248.35	43.22	215.4	10.02	248.0	46.53	196.2	12.36
6	163.7	41.41	195.7	9.66	156.8	44.68	171.85	11.93
7	244.9	39.87	214.65	9.29	244.4	42.87	195.3	11.59
8	166.55	38.37	196.4	8.94	160.5	41.01	172.3	11.37
9	241.65	36.75	214.0	8.72	240.8	39.38	194.7	11.03
10	169.6	35.31	196.75	8.46	163.5	37.82	173.0	10.67
11	239.0	34.15	213.25	8.07	237.5	36.21	194.0	10.34
12	171.8	32.95	197.4	7.78	166.5	34.83	173.6	10.05
13	236.4	31.71	212.75	7.59	234.9	33.56	193.45	9.82
14	174.05	30.62	197.75	7.38	169.1	32.17	174.0	9.61
15	234.2	29.53	212.25	7.12	232.1	30.92	192.95	9.35
16	176.2	28.47	198.25	6.86	171.25	29.89	174.5	9.10
17	232.15	27.50	211.75	6.68	229.95	28.81	192.45	8.85
18	178.05	26.58	198.5	6.54	173.4	27.73	175.0	8.60
19	230.3	25.70	211.4	6.39	227.8	26.68	192.0	8.43
20	179.75	24.81	198.8	6.15	175.4	25.71	175.25	8.29
21	228.4	23.86	210.8	5.88	225.9	24.81	191.6	8.07
22	181.55	23.00	199.15	5.79	177.15	23.90	175.7	7.82
23	226.8	22.26	210.65	5.67	224.0	22.97	191.1	7.59
24	183.0	21.52	199.55	5.42	178.9	22.12	176.05	7.47
25	225.3	20.81	210.2	5.27	222.35	21.34	190.9	7.36

[*Продолжение*]

[n]	n° 929		n° 930		n° 931		n° 932	
	l	*r*	*l*	*r*	*l*	*r*	*l*	*r*
26	184.35	20.10	199.75	5.14	180.35	20.66	176.35	7.20
27	223.8	19.40	209.85	4.99	221.0	19.98	190.6	7.04
28	185.65	18.70	199.95	4.93	181.75	19.25	176.7	6.87
29	222.35	18.04	209.7	4.77	219.55	18.57	190.3	6.72
30	186.8	17.50	200.4	4.57	183.0	17.95	177.0	6.57
31	221.25	16.96	209.45	4.49	218.3	17.38	190.0	6.44
32	187.9	16.36	200.55	4.39	184.05	16.83	177.25	6.30
33	220.0	15.75	209.2	4.29	217.1	16.23	189.7	6.17
34	189.0	15.28	200.7	4.19	185.15	15.72	177.5	6.01
35	219.2	14.93	208.95	4.08	216.15	15.28	189.35	5.86
36	189.8	14.39	200.9	3.96	186.05	14.80	177.75	5.71
37	217.95	13.83	208.7	3.87	215.15	14.30	189.0	5.56
38	190.7	13.40	201.05	3.75	187.0	13.88	177.95	5.52
39	217.1	13.03	208.4	3.62	214.35	13.44	188.95	5.46
40	191.35	12.67	201.25	3.53	187.95	12.97	178.2	5.27
41	216.3	12.30	208.25	3.47	213.45	12.53	188.6	5.23
42	192.0	12.00	201.4	3.36	188.8	12.12	178.1	5.15
43	215.7	11.71	208.0	3.29	212.7	11.80	188.1	4.91
44	192.6	11.38	201.45	3.23	189.4	11.46	178.4	4.79
45	215.0	11.04	207.75	3.08	212.0	11.21	187.9	4.70
46	193.25	10.67	201.7	3.00	189.75	10.99	178.6	4.59
47	214.2	10.34	207.7	3.00	211.35	10.61	187.65	4.47
48	193.75	10.05	201.75	2.90	190.5	10.28	178.8	4.39
49	213.5		207.4		210.8		187.5	
50	194.25		201.85		191.1		179.0	

[n]	n° 933	
	t	*r*
1	200.75	
2	167.7	
3	199.4	15.58
4	168.7	15.09
5	198.4	14.63
6	169.6	14.14
7	197.4	13.70
8	170.35	13.31
9	196.6	13.0
10	170.85	12.68
11	195.75	12.26
12	171.55	11.94
13	195.1	11.59
14	172.25	11.30
15	194.65	11.11
16	172.7	10.78
17	193.85	10.43
18	173.2	10.23
19	193.45	10.0
20	173.7	9.76
21	193.0	9.56
22	174.1	9.32
23	192.45	9.04
24	174.6	8.80
25	192.0	8.63

n° 934		n° 935	
l	*r*	*l*	*r*
142.8		149.25	
82.9		78.0	
141.65	29.10	147.3	34.25
84.1	28.38	79.5	33.48
140.1	27.72	145.7	32.80
85.1	27.23	80.65	32.17
139.0	26.68	144.25	31.46
86.2	26.12	82.0	30.75
137.85	25.53	142.8	30.12
87.4	24.89	83.1	29.53
136.6	24.35	141.5	28.90
88.3	23.93	84.2	28.41
135.75	23.53	140.55	27.91
89.1	23.08	85.3	27.36
134.75	22.58	139.5	26.85
90.0	22.18	86.3	26.35
134.0	21.81	138.5	25.86
90.8	21.37	87.25	25.37
133.1	20.94	137.55	24.96
91.6	20.55	88.0	24.55
132.35	20.21	136.6	24.07
92.25	19.89	88.9	23.63
131.7	19.55	135.7	23.14
93.0	19.14	89.9	22.69
130.9	18.80	134.95	22.36

[*Продолжение*]

[n]	n° 933		n° 934		n° 935	
	l	*r*	*l*	*r*	*l*	*r*
26	174.85	8.49	93.6	18.45	90.6	21.95
27	191.6	8.24	130.05	18.02	134.05	21.54
28	175.35	8.04	94.35	17.71	91.3	21.20
29	191.3	7.89	129.5	17.41	133.35	20.85
30	175.75	7.63	95.05	17.04	92.0	20.48
31	190.75	7.39	128.8	16.74	132.6	20.13
32	176.1	7.27	95.6	16.41	92.65	19.81
33	190.55	7.15	128.05	16.08	131.9	19.44
34	176.45	6.96	96.15	15.80	93.45	18.98
35	190.2	6.78	127.45	15.49	131.0	18.61
36	176.75	6.70	96.75	15.23	94.0	18.39
37	190.15	6.70	127.0	15.00	130.5	18.05
38	176.85	6.57	97.25	14.77	94.85	17.64
39	189.75	6.32	126.6	14.59	129.85	17.36
40	177.3	6.16	97.65	14.31	95.4	17.07
41	189.55	6.08	125.9	13.96	129.2	16.75
42	177.5	5.95	98.25	13.69	96.0	16.43
43	189.25	5.80	125.4	13.46	128.5	16.09
44	177.75	5 73	98.7	13.22	96.6	15.82
45	189.15	5.66	124.9	13.01	128.0	15.59
46	178.0	5.47	99.05	12.83	97.05	15.34
47	188.75	5.30	124.45	12.56	127.5	15.13
48	178.25	5.22	99.6	12.32	97.4	14.95
49	188.6		124.1		127.05	
50	178.55		99.85		98.0	

[*Продолжение*]

Jn]	n° 936			n° 938		
	l	*L*	*r*	*l*	*L*	*r*
1	282.2			248.3		
2	176.75			226.0		
3	274.3	227.19	47.11	247.25	236.88	10.37
4	182.85	227.14	44.29	227.0	236.88	9.88
5	268.6	227.24	41.36	246.25	236.87	9.38
6	188.8	227.25	38.45	228.0	236.84	8.84
7	263.4	227.05	36.35	245.2	236.76	8.44
8	192.4	226.82	34.42	228.6	236.68	8.08
9	259.0	226.73	32.27	244.3	236.63	7.67
10	196.3	226.70	30.40	229.25	236.62	7.37
11	255.4	226.66	28.74	243.7	236.66	7.04
12	199.4	226.65	27.25	230.0	236.75	6.75
13	252.4	226.68	25.72	243.3	236.83	6.47
14	202.45	226.72	24.27	230.75	236.85	6.10
15	249.75	226.69	23.06	242.7	236.80	5.90
16	204.75	226.64	21.89	231.05	236.75	5.70
17	247.4	226.60	20.80	242.1	236.75	5.35
18	206.75	226.57	19.82	231.7	236.78	5.08
19	245.4	226.57	18.83	241.7	236.80	4.90
20	208.7	226.58	17.88	232.1	236.81	4.71
21	243.6	226.55	17.05	241.35	236.82	4.53
22	210.25	226.52	16.27	232.5	236.82	4.32
23	242.0	226.49	15.51	241.0	236.87	4.13
24	211.65	226.50	14.85	232.95	236.92	3.97
25	240.7	226.53	14.17	240.8	236.94	3.86

[n]	n° 936		
	l	*L*	*r*
26	213.1	226.51	13.41
27	239.3	226.42	12.88
28	213.9	226.33	12.43
29	238.15	226.32	11.83
30	215.0	226.36	11.36
31	237.3	226.39	10.91
32	216.0	226.38	10.38
33	236.3	226.34	9.96
34	216.7	226.31	9.61
35	235.5	226.33	9.17
36	217.6	226.36	8.76
37	234.8	226.38	8.42
38	218.25	226.42	8.17
39	234.4	226.44	7.96
40	218.8	226.43	7.63
41	233.7	226.43	7.27
42	219.5	226.43	6.93
43	233.1	226.41	6.69
44	219.9	226.41	6.51
45	232.7	226.44	6.26
46	220.5	226.45	5.95
47	232.15	226.42	5.73
48	220.85	226.39	5.54
49	231.7		
50	221.3		

[*Продолжение*]

n° 938		
l	*L*	*r*
233.25	236.92	3.67
240.4	236.89	3.51
233.5	236.87	3.37
240.1	236.83	3.27
233.6	236.83	3.23
239.95	236.85	3.10
233.95	236.87	2.92
239.65	236.88	2.77
234.25	236.90	2.65
239.5	236.88	2.62
234.3	236.87	2.57
239.3	236.89	2.41
234.6	236.94	2.34
239.3	236.96	2.34
234.7	236.96	2.26
239.1	236.95	2.15
234.9	236.96	2.06
238.95	236.94	2.01
235.0	236.92	1.92
238.7	236.93	1.77
235.25	236.95	1.70
238.65	236.97	1.68
235.35	236.97	1.62
238.35		
235.35		

[Продолжение]

[n]	n° 940			n° 957		n° 958	
	l	L	r	l	r	l	r
1	277.6			45.85		50.1	
2	131.75			8.7		5.2	
3	267.5	201.88	65.62	43.9	17.18	47.8	20.74
4	140.3	201.75	61.45	10.35	16.32	7.35	19.71
5	259.3	201.63	57.67	42.1	15.43	45.8	18.72
6	147.2	201.54	54.34	12.0	14.69	9.3	17.78
7	252.8	201.46	51.34	40.75	14.06	44.0	16.92
8	152.8	201.37	48.57	13.3	13.37	11.0	16.05
9	247.2	201.34	45.86	39.3	12.63	42.25	15.24
10	158.0	201.30	43.30	14.75	11.94	12.45	14.56
11	242.2	201.24	40.96	38.05	11.35	40.9	13.88
12	162.4	201.19	38.79	15.9	10.81	13.8	13.22
13	237.9	201.15	36.75	37.0	10.27	39.6	12.58
14	166.25	201.13	34.88	17.0	9.74	15.05	11.98
15	234.25	201 10	33.15	36.0	9.26	38.4	11.36
16	169.5	201.08	31.58	17.95	8.77	16.3	10.76
17	231.15	201.06	30.09	35.05	8.35	37.3	10.24
18	172.4	201.01	28.61	18.7	7.98	17.3	9.75
19	228.2	200.95	27.25	34.25	7.57	36.3	9.24
20	174.9	200.91	26.01	19.5	7.20	18.3	8.76
21	225.65	200.92	24.73	33.6	6.90	35.4	8.34
22	177.4	200.94	23.54	20.1	6.59	19.05	8.03
23	223.4	200.94	22.46	32.95	6.26	34.8	7.69
24	179.5	200.94	21.44	20.75	5.93	19.85	7.26
25	221.4	200.93	20.47	32.3	5.63	34.0	6.92

Продолжение

[n]	n° 940			n° 957		n° 958	
	l	*L*	*r*	*l*	*r*	*l*	*r*
26	181.4	200.88	19.48	21.3	5.38	20.45	6.60
27	219.45	200.81	18.64	31.8	5.09	33.3	6.27
28	182.85	200.77	17.92	21.95	4.77	21.05	5.99
29	217.85	200.80	17.05	31.25	4.56	32.75	5.68
30	184.6	200.83	16.23	22.25	4.44	21.7	5.39
31	216.4	200.83	15.57	30.95		32.25	
32	185.85	200.83	14.98	22.75		22.15	
33	215.25	200.84	14.41				
34	187.05	200.82	13.77				
35	213.95	200.80	13.15				
36	188,2	200.76	12.56				
37	212.75	200.72	12.03				
38	189.1	200.69	11.59				
39	211.8	200.67	11.13				
40	190.0	200.66	10.66				
41	210.85	200.69	10.16				
42	190.95	200.76	9.81				
43	210.35	200.82	9.53				
44	191.7	200.83	9.13				
45	209.6	200.78	8.82				
46	192.25	200.73	8.48				
47	208.8	200.72	8.08				
48	192.95	200.74	7.79				
49	208.3						
50	193.45						

§ 13. **О временах колебания весов.** То, что дали предварительные наблюдения (§ 7) в отношении к временам размахов, вновь совершенно подтверждается вышеприведенными данными (табл. 2, § 12),[1] так как, принимая во внимание возможные погрешности отсчетов, во всех наблюдениях времена одного размаха t уменьшаются с возрастанием времен T или с уменьшением амплитуд. Чтобы получить более отчетливое представление о ходе этого уменьшения, прежде всего я интерполировал данные опыта для T по n, так как первые же пробы показали возможность выражать с достаточною степенью точности зависимость T от n параболами 2-го и 3-го порядка (для малых и больших пределов n), когда n изменяется от 1 до 50. Для примера беру сперва прямо данные опыта n° 940:[2]

$n =$	5.5	15.5	25.5	35.5	45.5	
$T =$	153.96	534.51	910.71	1283.99	1652.73	сек.

Интерполируя их по способу наименьших квадратов (приложение 1 к этой главе), получаем

$$T' = 910.971 + 37.4756\,(n - 25.5) - 0.018957\,(n - 25.5)^2 - \\ - 0.0000158\,(n - 25.5)^3. \qquad (A)$$

Рассчитывая T' для взятых n, находим:

	$T' =$	154.00	534.34	910.97	1283.81	1652.78 сек.
$\Delta = T - T' =$		−0.04	+0.17	−0.26	+0.17	−0.04 »

Разность Δ не только в квадратическом среднем ($\Delta = \pm$ ± 0.16 сек.), но и в отдельных случаях едва превосходит возможную погрешность наблюдений.[3] Если же взять лишь некоторую часть данных, то для сглаживания опытных чисел можно довольствоваться и параболою 2-го порядка. Так. из того же номера данных:

---

[1] По этой причине при дальнейших наблюдениях над колебаниями я предполагаю пользоваться лишь ручными часами с секундомером, записывая (чрез равное число размахов) 3 или 4 момента, что достаточно для расчета времен.

[2] Привожу лишь один наиболее краткий пример, но я сделал много подобных же расчетов даже для всех 15 данных в этом и в других рядах и получал всегда выводы того же смысла и значения, как во взятом примере.

[3] Правильная симметричность в распределении знаков и величин Δ указывает только на то, что, идя далее, т. е. взяв параболу 4-го порядка, мы получим точное решение, что и очевидно потому, что взято 5 данных, а в параболе 4-го порядка 5 постоянных (аргументов).

$n =$	1.5	3.5	5.5	7.5	9.5
$T =$	0	76.98	153.96	230.56	306.92
$T' =$	−0.032	77.057	153.915	230.541	306.936
$\Delta = T - T' =$	+0.032	−0.077	+0.045	+0.019	−0.016

так как по интерполированию находим

$$T = 153.915 + 38.371\,(n - 5.5) - 0.0289\,(n - 5.5)^2 \pm 0.044 \text{ сек.} \quad (B)$$

Уже из величин Δ можно видеть, что хотя на малом протяжении параболические выражения совершенно отвечают действительности и погрешности наблюдений сглаживаются, тем не менее на больших протяжениях кривой (выражающей T по n) ее побегу не отвечают, как можно судить из того, что они не дают возможности эксполировать.[1] Тем не менее интерполирование, особенно частей *или малых протяжений* кривой, представляет не только выгоды сглаживания, но и возможности уверенно судить о временах t одного размаха, так как производная $\frac{dT}{dn}$ выражает эту величину. Так, из выражения (B) в пределе от $n = 1.5$ до $n = 9.5$:

$$t = \frac{dT}{dn} = 38.689 - 0.0578\,n.$$

Откуда получаем для $n = 5$ время одного размаха $= 38.400$ сек. с погрешностью не менее ± 0.044 сек. Производя все те же действия (т. е. интерполирование и взятие производной) для каждых 5 данных, находим для п° 940 по данным наблюдений:[2]

$n =$	5	15	25	35	45
$T =$	134.72	515.53	892.11	1265.17	1634.45
$t =$	38.40	37.86	37.48	37.18	36.80
$\Delta =$	±0.04	±0.04	±0.07	±0.15	±0.18

Отсюда видно прежде всего, что с возрастанием n (когда T возрастают) времена t отдельных размахов правильно все время уменьшаются сперва быстро, потом медленнее, что напоминает такое же уменьшение размахов R или отклонений, так что невольно является мысль о том, что здесь действует подобный же закон, т. е. к зависимости t от n приложимо понятие о своем декременте. Приложив его в про-

[1] Так, выражение (B) для $n = 25.5$ дает 909.77 вместо наблюденного 910.71; разность много более возможной погрешности.

[2] А именно, последовательно для каждых 5 данных в п° 940 получаем

$$T = 534.46 + 37.853\,(n - 15.5) - 0.0061\,(n - 15.5)^2$$
$$T = 910.85 + 37.495\,(n - 25.5) - 0.0180\,(n - 25.5)^2$$
$$T = 1283.75 + 37.146\,(n - 35.5) - 0.0350\,(n - 35.5)^2$$
$$T = 1652.84 + 36.806\,(n - 45.5) + 0.0111\,(n - 45.5)^2$$

стейшем виде и означая декремент времен чрез β, следует испытывать формулу[1]

$$t_n = \frac{t_0}{\beta^n}, \qquad \text{(III)}$$

которая требует, чтобы $\log t_n$ был $= \log t_0 - n \log \beta$, т. е. вообще

$$\log t_n = A - nB, \qquad \text{(C)}$$

где $A = \log t_0$ и $B = \log \beta$. Прилагая подобную формулу к вышеприведенному случаю, получаем

$$\log t_n = 1.586405 - 0.000483\ n,$$

и для вышеуказанных n:

$t_n =$	38.37	37.95	37.53	37.11	36.70
$\Delta = t - t_n =$	+0.03	−0.09	−0.05	+0.07	+0.10

Разность эта отвечает погрешности меньшей, чем «возможная», а потому соответствие выражения (C) с наблюденною действительностью в этом случае не может подлежать сомнению. А так как другие ряды наблюдений (§ 12, табл. 2), испытанные подобным же путем, дали мне удовлетворительное соответствие (т. е. разность расчета с наблюдением не превосходила возможных погрешностей), то я подверг выражение (III) дальнейшему, не менее строгому, испытанию.

Если время начального размаха, после которого начинается счет элонгаций, означим чрез t_0, считая его за исходную величину, то по (III)

$$t_1 = \frac{t_0}{\beta}; \qquad t_2 = \frac{t_0}{\beta^2}; \ldots; \qquad t_n = \frac{t_0}{\beta^n}.$$

Если затем чрез T_0 означим время нулевой (не записываемой) элонгации ($n = 0$), то можно считать, что первой элонгации ($n = 1$) ответит время

$$n = 1 \qquad T_1 = T_0 + t_0.$$

Второй же и следующим элонгациям времена

$$n = 2 \qquad T_2 = T_0 + t_0 + \frac{t_0}{\beta},$$

$$n = 3 \qquad T_3 = T_0 + t_0 + \frac{t_0}{\beta} + \frac{t_0}{\beta^2}$$

[1] На первый взгляд может казаться, что изменения t по n, как и T по n, можно выражать параболами, подобными (A) и (B). Это и возможно для узких пределов, но не вообще, так как выражения, подобные (A) и (B), дают maximum или minimum, что вовсе не отвечает делу. Этого недостатка не имеют выражения, нами примененные, подобные (III), так как при них в бесконечности (предел) получается нуль.

и т. д. Вообще же

$$T_n = T_{n-1} + t_{n-1} = T_0 + t_0\left(1 + \frac{1}{\beta} + \frac{1}{\beta^2} + \ldots \frac{1}{\beta^{n-1}}\right),$$

а так как в скобках содержатся члены геометрической прогрессии, то так:

$$T_n = T_0 + \frac{t_0}{\frac{1}{\beta} - 1}\left(\frac{1}{\beta^n} - 1\right).$$

Так как β более единицы (потому что времена t убывают при возрастании n), то $\frac{1}{\beta}$ менее единицы, а потому предшествующее выражение мы напишем так:

$$T_n = \left(T_0 + \frac{t_0}{1 - \frac{1}{\beta}}\right) - \left(\frac{t_0}{1 - \frac{1}{\beta}}\right)\frac{1}{\beta^n} = Q - M\frac{1}{\beta^n}, \qquad \text{(IV)}$$

где

$$Q = T_0 + M \quad \text{и} \quad M = \frac{t_0}{1 - \frac{1}{\beta}}.^{1}$$

Такой же вывод, но еще строже[2] и точнее, получается, исходя из того, что время одного колебания t есть не что иное, как производная от суммы времен колебания T, т. е.

$$dT = tdn.$$

Если принять, что

$$t = \frac{t_0}{\beta^n},$$

то очевидно, что

$$T_n = \int tdn = \int \frac{t_0}{\beta^n}\, dn = \int t_0 \beta^{-n}(dn),$$

---

[1] А так как β немногим более 1 или $1 + \alpha$, где α очень малая величина $\alpha = \beta - 1$, то

$$M = \frac{t_0}{1 - (1 - \alpha + \alpha^2 - \alpha^3 + \ldots)}$$

или — почти

$$M = \frac{t_0}{\beta - 1}\beta.$$

[2] При алгебраическом расчете мы приняли $T_1 = T_0 + t_0$ и вообще $T_n = T_{n-1} + t_{n-1}$, а это не совершенно точно, в действительности $T_n = T_{n-1} + t$ не $(n-1)$, а некоторое среднее между t_n и t_{n-1}, потому что размахи отвечают не n или $n-1$, а переходу от одного к другому.

а так как

$$\int t_0 \beta^{-n} (dn) = -\frac{t_0}{\ln \beta} \beta^{-n} + C,$$

то, означая C чрез Q, получаем

$$T_n = -\frac{t_0}{\ln \beta} \beta^{-n} + Q.$$

Значение же Q находится легко из того, что

$$T_0 = -\frac{t_0}{\ln \beta} + Q,$$

откуда

$$Q = T_0 + \frac{t_0}{\ln \beta}.$$

Означая затем $\frac{t_0}{\ln \beta}$ чрез M, имеем в соответствии с (IV)

$$T_n = Q - M\beta^{-n} \quad \text{или} \quad T_n = Q - M\frac{1}{\beta^n}.$$

Если только одна, но совершенно понятная, разность между этим — точным и общим — выводом и предшествующим — приближенным. Здесь

$$M = \frac{t_0}{\ln \beta},$$

а там получилось

$$M = \frac{t_0}{1 - \frac{1}{\beta}}.$$

Но, во-первых, там применялись конечные разности, а здесь применено понятие бесконечно малых, что общее, а во-вторых, — и это не должно упустить из вида — оба выражения M в реальности, или принимая во внимание возможные погрешности наблюдений, дают одни и те же численные величины, как легко убедиться, разлагая оба знаменателя в строки и имея в виду, что $\beta = 1 + \alpha$, где α очень мало сравнительно с единицею. Еще проще убедиться в близости обоих выражений M — по численному примеру, полагая $\beta = 1.001$, — а оно в действительности часто еще менее отличается от единицы, — и приняв $t_0 = 50$, т. е. величине большей, чем в наших наблюдениях, где t_0 изменяется от 17 до 45 секунд ± 0.5 секунды. При указанных β и t_0 первая из вышенаписанных формул дает $M = 50.035$, а вторая 50.050, что отвечает, принимая $t_0 = M \ln \beta$, величине $t_0 = 50.016$,

а это число при возможных погрешностях наблюдения не отличимо от заданного $t=50$.

Таким образом, допуская (III), что

$$t_n = \frac{t_0}{\beta^n},$$

мы приходим к тому заключению, что сумма времен колебания весов T_n должна выражаться функциею вида

где
$$\left.\begin{aligned} T_n &= Q - M\beta^{-n}, \\ Q = T_0 + M^1 \quad &\text{и} \quad M = \frac{t_0}{2.302585\log\beta}.^2 \end{aligned}\right\} \qquad (V)$$

Те же отношения можно выразить, пользуясь лишь реальными величинами T_0 (абсолютное время элонгации, когда $n=0$) и t_0 (длительность одного размаха от равновесия до следующего, при $n=0$):

$$T_n = T_0 + t_0 \frac{\beta^n - 1}{\beta^n \ln\beta}. \qquad (Va)$$

Эти выражения подлежат проверке на основании собранных наблюдений. Однако при такой проверке не должно упускать из вида, что погрешности, возможные в наблюдаемых временах T_n, могут очень сильно влиять на величины Q, M и β, а потому в расчет не должно вводить таких наблюдений, в которых погрешность T заведомо значительна, т. е. особенно тех, где величина размахов мала, а потому мала и скорость прохождения чрез точку шкалы, близкую к равновесию, как например, в определениях (§ 12, табл. 1) п° 938 и п° 930. Наибольшею отчетливостью данных должны обладать наблюдения (как п° п° 935, 926, 928, 931 и 940; они далее и разочтены), которые дали довольно значительные последние размахи.

Для того, чтобы по возможности освободить данные T от случайных погрешностей наблюдения и облегчить расчет, сперва для всех рядов (§ 12, табл. 2), произведено интерполяционное сглаживание для $n=5.5$, 15.5, 25.5, 35.5 и 45.5, притом для $n=5.5$ и 25.5 сглаживание велось по 5 данным,

[1] Если счет времен начинался бы с той элонгации, при которой $n=0$, т. е. если бы $T_0=0$, величины M и Q были бы одинаковы и $=t_0/\ln\beta$, но расчет (по данным наблюдений) тогда ничем бы не облегчился, и я считал полезным сохранить то условие наблюдений, что при $n=1.5$ величина $T=0$. Не должно, однако, забыть, что это есть одно из наблюдений (исходное), а потому в нем должна заключаться своя погрешность, не меньшая (едва ли даже не большая), чем в других T_n.

[2] Так как $\ln\beta = \ln 10 \log\beta = 2.302585\log\beta$.

а для остальных по семи. Полученные числа, которые мы означаем далее T_1, T_2, T_3, T_4 и T_5, приведены в прилагаемой табл. 4.

Таблица 4

Сглаженные (по 5 и по 7) значения времен T колебания в зависимости от n (от числа наблюденных элонгаций), считая при $n = 1.5$ время $T = 0$ (см. табл. 2, § 12)

n°	$n = 5.5$ T_1	15.5 T_2	25.5 T_3	35.5 T_4	45.5 T_5
926	125.12	436.58	746.50	1055.08	1362.96
927	121.74	424.71	726.52	1026.76	1326.55
928	123.00	430.24	735.87	1040.19	1343.68
929	123.83	431.59	737.56	1042.18	1345.47
930	121.23	423.61	724.74	1024.90	1324.87
931	123.63	431.03	736.29	1039.69	1342.51
932	111.93	391.16	669.46	946.72	*(1222.63)*
933	111.82	391.85	670.21	947.91	1224.97
934	179.15	627.15	1074.01	1520.07	1968.08
935	178.92	625.27	1071.13	1516.35	1961.31
936	153.24	532.37	906.97	1278.36	1646.76
938	149.34	518.13	888.38	1254.88	1622.23
940	153.91	534.56	910.85	1283.63	1652.84
957	69.85	242.94	415.66		
958	70.65	245.04	419.28		

Способ расчета этих данных по (V), примененный мною, проще всего показать над примерами, для чего беру наблюдения n°n° 957 и 940, где последний размах имеет величину менее средней (табл. 1), т. е. здесь можно ждать не высшей, а некоторой средней степени точности или отчетливости сглаженных чисел. Для n° 957 взято лишь три сглаженных числа, а требуется найти три неизвестных (β, Q и M), поэтому расчет наиболее прост. Дано:

$$T_1 = 69.85 = Q - M\frac{1}{\beta^{5.5}},$$

$$T_2 = 242.94 = Q - M\frac{1}{\beta^{15.5}},$$

$$T_3 = 415.66 = Q - M\frac{1}{\beta^{25.5}}.$$

Отсюда чрез вычитание получаем

$$T_2 - T_1 = M\left(\frac{1}{\beta^{5.5}} - \frac{1}{\beta^{15.5}}\right) = M(\beta^{10} - 1)\frac{1}{\beta^{15.5}} = 173.09,$$

$$T_3 - T_2 = M\left(\frac{1}{\beta^{15.5}} - \frac{1}{\beta^{25.5}}\right) = M(\beta^{10} - 1)\frac{1}{\beta^{25.5}} = 172.72.$$

Разделяя первую разность на вторую (в логарифмах), получаем

$$\log\frac{T_2 - T_1}{T_3 - T_2} = \log\beta^{10} = \log 173.09 - \log 172.72 =$$

$$= 0.00092935 = \log 1.0021422.$$

Отсюда:

1) $\log\beta = 0.00009293$ и $\beta = 1.0002140$;

2) $\beta^{10} - 1 = 0.0021422$,

а потому

$$\left.\begin{aligned}&\log(T_2 - T_1) - \log(\beta^{10} - 1) + \log\beta^{15.5}\\ &\log(T_3 - T_2) - \log(\beta^{10} - 1) + \log\beta^{25.5}\end{aligned}\right\} =$$

$$= 4.90885239 = \log 81068.55 \log M.$$

Что касается до Q, то оно находится прямо из данных наблюдений, так как

$$\frac{Q - T_1}{Q - T_2} = \beta^{10} = \frac{Q - T_2}{Q - T_3}, \qquad \text{откуда } Q = \frac{T_2^2 - T_1 - T_3}{2T_2 - T_1 - T_3} = 81043.22.$$

Следовательно, для наблюдений n° 957 получаем

$$T_n = 81043.22 - 81068.55\frac{1}{(1.000214)^n}.$$

(n° 957) $n = 1.5$	5.5	11.5	15.5	21.5	25.5	31.5	
Наблюдение 0	69.98	173.72	243.12	346.79	415.59	519.12	сек.
Формула . . 0.69	70.01	173.92	243.12	346.78	415.82	519.26	»
Разность . —0.69	—0.03	—0.20	0	+0.01	—0.23	—0.14	»

Средняя квадратическая погрешность ± 0.13, несомненно, свойственна данным этого ряда, как видно уже из того, что простое сглаживание указывает на значительную погрешность, зависящую здесь от относительной малости размахов, которые достигли при конце до 8 div. Средняя длительность одного размаха здесь около 17.2 сек., так что средняя погрешность составляет около $^1/_{60}$ всего размаха, т. е., если бы скорость

была равномерна, эта погрешность при размахе $=10$ div. отвечала бы ± 0.17 div. Следовательно, бо́льшая часть погрешности объясняется (принимая погрешность отсчета $=\pm 0.1$ div.) уже малостью размахов. Остальное объяснимо невозможностью уловить прохождение чрез условную черту при помощи передачи сигнала (см. начало § 12). Поэтому наблюдения, подобные вышерассмотренным, не противореча возможности приложения равенства (V), не могут говорить ни за, ни против него. Это особенно потому, что здесь уменьшение t с возрастанием n так мало, что им можно пренебречь и все явление довольно удовлетворительно выразить даже прямою, т. е. принять изохронизм

$$T_n = -25.18 + 17.290\, n,$$

но подобное допущение совершенно не отвечает тем рядам, где начальный размах значителен и убыль t превосходит возможные погрешности опыта. Так, для n° 935 последовательные разности времен 10 размахов (по табл. 4) суть: 446.35, 445.86, 445.23 и 444.96, так что убыль выражается 1.39 сек., что, без сомнения, больше возможных погрешностей наблюдения, в чем удостоверяет и правильность в ходе убыли t.

Прежде чем идти далее в обсуждении вопроса, закончим с примерами расчета по (V) над n° 940, так как в нем видны уже все стороны исследуемого явления и последовательное уменьшение t не подлежит сомнению, что отвечает всем тем наблюдениям, где чувствительность не так велика, как в n° 957.

Для n° 940, как и для большинства других наблюдений, в табл. 4 дано пять времен T_n, а требуется узнать три неизвестных (Q, M и β), а потому должно придерживаться некоторых правил относительно извлечения результата из правильной комбинации малого числа исходных чисел.[1]

---

[1] Тем более, что величины Q и M велики, а β мало отличается от единицы. Одному и тому же ряду чисел могут ответить многие значения Q, M и β. Это неудобство применения найденной мною формулы (V) и некоторые другие обстоятельства, особенно же спешность, с которою должно закончить издание отчета, и преобладающий интерес в отношении к убыли элонгаций (размахов и отклонений весов), заставляют меня отложить до другого раза более подробный разбор данных, собранных по отношению к временам колебания весов. Развитие этого предмета я ограничиваю теми выводами, которые помещены в конце этого параграфа. Но я не желал умолчать ни о собранных (для времен) наблюдениях, ни о выводе, достигнутом при их первой обработке, так как считал предмет этот мало разработанным и обещающим поучительное применение к теории колебаний вообще.

Испробовав разные приемы расчета, я остановился на том, что сперва рассчитываю Q по T_1, T_3 и T_5—как данным, наиболее далеким и равно друг от друга отстоящим, пользуясь тем, что

$$\beta^{20} = \frac{Q-T_1}{Q-T_3} = \frac{Q-T_3}{Q-T_5}, \quad \text{откуда } Q = 38478.87.$$

Когда Q известно, тогда можно уже идти более строгим путем, потому что по (V)

$$\log(Q-T_n) = \log M - n\log\beta.$$

Пять уравнений, так составленных, по способу наименьших квадратов, дают вероятнейшие значения M и β. Эти пять уравнений для n° 940 таковы:

$$\log 38324.96 = \log M - 5.5\log\beta = 4.58348171$$
$$\log 37944.31 = \log M - 15.5\log\beta = 4.57914666$$
$$\log 37568.02 = \log M - 25.5\log\beta = 4.57481831$$
$$\log 37195.24 = \log M - 35.5\log\beta = 4.57048736$$
$$\log 36826.03 = \log M - 45.5\log\beta = 4.56615490.$$

Откуда выводится

$$\log(Q-T_n) = 4.58586261 - 0.000433129\ n,$$

следовательно

$$M = 38535.64 \quad \text{и} \quad \beta = 1.0009978.$$

Поэтому для n° 940 получается выражение

$$T_n = 38478.87 - 38535.64(1.0009978)^{-n}.$$

(n° 940) $n =$	5.5	15.5	25.5	35.5	45.5
I. Наблюденное $T_n =$	153.96	534.51	910.71	1283.99	1652.73
II. Сглаженное $T_n =$	153.91	534.56	910.85	1283.63	1652.84
III. По формуле $T_n =$	154.03	534.35	910.89	1283.70	1652.81
[Разность] I — II =	+0.05	−0.05	−0.14	+0.36	−0.11
» I — III =	−0.07	+0.16	−0.18	+0.29	−0.08
» II — III =	−0.12	+0.21	−0.04	−0.07	+0.03

Средняя квадратическая разность между формулой и наблюдением $= \pm 0.18$, а между формулой и сглаженными числами $= \pm 0.11$ сек.,[1] что находится, очевидно, глубоко

[1] Заметим, судя по разности I—II, что даже простое сглаживание указывает на среднюю квадратическую погрешность ± 0.18, точно такую же, какая находится при сравнении формулы с наблюдением.

в пределе возможных погрешностей, так что здесь приложимость выражения (V) не подлежит сомнению. Из формулы выводится также
$T_0 = Q - M = -56.77$ сек. и $t_0 = 2.3026\, M \log \beta = 38.43$ сек.
Отсюда для наибольшей наглядности выводим, что

$$\text{n° 940} \begin{cases} t_n = 38.43\,(1.0009978)^{-n}, \\ T_n + 56.77 = 38535.64\,(1 - 1.0009978^{-n}) \pm 0.18 \text{ сек.} \end{cases}$$

Чтобы получить еще большее убеждение в приложимости формулы (V) к действительности, я считаю не излишним представить сличение расчета с наблюдением для n° 935, потому что он отвечает весам Рупрехта и в нем продолжительность времени больше, чем в рассмотренных рядах, отвечающих весам Неметца и Эртлинга. Расчет данных для n° 935 (табл. 4) произведен точно так же, как для n° 940, и он дал

$$Q = 392316.30,\ M = 392384.00\ (\log M = 5.59371028)$$

и

$$\beta = 1.0001139\ (\log \beta = 0.0000494614),$$

а потому:

$$\text{n° 935} \begin{cases} t_n = 44.69\,(1.0001139)^{-n} \\ T_n + 67.70 = 392384.00\,(1 - 1.0001139^{-n}) \end{cases}$$

	$n =$	5.5	15.5	25.5	35.5	45.5
I. Наблюденное	$T =$	178.94	625.45	1071.24	1516.36	1961.20
II. Сглаженное	$T =$	178.92	625.27	1071.13	1516.35	1961.31
III. По формуле	$T =$	178.91	625.26	1071.11	1516.44	1961.26
Разность	I — II =	+0.02	+0.18	+0.11	+0.01	−0.11
»	I — III =	+0.03	+0.19	+0.13	−0.08	−0.06
»	II — III =	+0.01	+0.01	+0.02	−0.09	+0.05

Здесь получилось почти полное тождество расчета по (V) со сглаженными данными, так как средняя квадратическая разность не более ± 0.05 сек., а можно подозревать в данных наблюдений погрешность, по крайней мере, в 4 раза бо́льшую. Но если она и была в наблюдениях, сглаживание ее, очевидно, сбавило. Важнее же всего то обстоятельство, что разобранные данные получены, хотя при размахах не очень больших ($R_1 = 71.2$, $R_m = 29.0$ div.), но при большой чувствительности и при большой длительности размаха ($t_0 = 44.69$ сек.), а в этих условиях можно было скорее всего ожидать изохронизма, если бы он отвечал действительности. Здесь же явно сказалось уменьшение времен размаха, хотя β и меньше, чем в большинстве наших наблюдений. Только

для весов Эртлинга в n° 958 оно получается еще меньше, но и здесь чувствительность велика, так что видно соответствие между мерою чувствительности и величиною β. В этом отношении полезно сличить n° 936 с n°n° 929 и 931, так как здесь весы и прочие условия те же или почти одни и те же (R_1, e, нагрузка), а чувствительность разная (табл. 5). С другой стороны, полезно сличить n°n° 929 и 931 с n°n° 926 и 928, так как в этих последних наблюдение произведено в разреженном пространстве. Для суждения же о влиянии нагрузки необходимо прибавить и n° 933, потому что она здесь $=0$, тогда как в остальных n°n° на весах Неметца она $=607.4$ г. Расчет всех этих рядов произведен так же, как n° 940, а результаты сведены в прилагаемой таблице (табл. 5), где под знаком $\sqrt{\frac{1}{5}\sum\Delta^2}$ дана средняя квадратическая разность между сглаженными (табл. 4) временами и разочтенными по формуле (V), причем Q, M и β даны значения, указанные в таблице. Из величины этой средней разности видно, что опыт и формула (V) согласуются в пределах погрешности наблюдений.

Не вдаваясь в рассмотрение зависимости β, т. е. «декремента времен размаха весов», от условий взвешивания, равно как и в рассмотрение некоторых других частностей, относящихся до времен колебания весов, считаю возможным сделать свод достигнутых выводов, которые, мне кажется, достаточно обоснованы в предшествующем:

1) Колебания весов явно не изохронны.

2) Времена колебаний t уменьшаются с уменьшением размахов гораздо быстрее, чем по общеизвестной (§ 7) формуле для приведения времен колебаний маятника к бесконечно малым размахам.

3) Это уменьшение совершается по простому[1] закону декремента:

$$t_n = \frac{t_{n-1}}{\beta} = \frac{t_0}{\beta^n}, \qquad \text{(VI)}$$

где β есть постоянное (декремент времен размаха весов) немногим большее, чем единица, и равное $1+\alpha$, где α изменяется с нагрузкою, чувствительностью и сопротивлениями, но постоянно, в пределе возможных погрешностей, при разных величинах размахов.

[1] Он называется «логарифмическим», потому что $\log y_n = n \log D$, если y_n есть амплитуда колебания, n число колебаний и D — декремент. Рассматриваемая мною убыль времен подчиняется такому закону, а убыль амплитуд для весов — более усложненному, как увидим далее.

Табл

Расчет наблюденных (сглаженных) времен

$T_n = Q - M\ \beta^{-n}$, где $Q =$

№	Условия взвешивания						Резуль
	весы и наблюдатель	нагрузка, в граммах	1 div. = мг	e = мг	R_1 div.	R_m div.	Q
926	Нем. З.	607.4	0.055	0.106	101.5	22.7	78603.39
928	Нем. З.	607.4	0.055	0.108	97.9	20.1	74354.15
929	Нем. С.	607.4	0.053	1.210	101.0	19.3	64842.82
931	Нем. С.	607.4	0.053	1.210	110.0	19.7	58408.14
933	Нем. З.	0	0.0	1.205	33.0	10.1	86006.97
935	Рупр. С.	427.3	0.024	1.201	71.2	29.0	392316.20
936	Нем. З.	607.4	0.033	1.202	105.5	10.4	40907.11
940	Нем. З.	607.4	0.035	1.207	145.9	14.9	38478.87
957	Эрт. С.	0.5	0.008	1.184	37.1	8.2	81043.22

4) Подлежащие наблюдению времена, T_n, элонгаций (или времена прохождений чрез равновесие, что в сущности одно и то же) выражаются зависимостью:

$$T_n = T_0 + t_0 \left(\frac{1 - \beta^{-n}}{\ln \beta}\right), \qquad \text{(VII)}$$

где T_0 (время элонгации, для которой $n = 0$) и t_0 (длительность начального размаха) зависят от того, с какого момента начинается счет (n) элонгаций, а β есть упомянутый выше декремент времен колебания весов.

§ 14. В § 10 мы уже видели, что отклонения r (амплитуды, а также и размахи R) в колебаниях весов не подчиняются закону постоянства декремента, а именно они последовательно убывают, поэтому обратимся теперь к разбору данных, заключающихся в табл. 3 (§ 12), для того чтобы отыскать действительный закон, управляющий убылью отклонений.[1] Но и при этом исследовании я все же держусь

[1] Хотя в моем изложении рассматриваются сперва времена, а потом амплитуды колебания весов, но в действительности я сперва занимался исключительно этим последним предметом, и он, относясь непосредственнее к взвешиваниям, составляет подлинный предмет всей этой главы.

ица 5

колебания весов (табл. 2 и 4) по формуле
$M + T_0$, а $M = \frac{t_0}{\ln\beta}$

таты расчета		T_0 [1]	t_0 [2]	$\sqrt{\frac{1}{5}\Sigma\Delta^2}$, мера соответствия расчета с наблюдением, в секундах	Время одного размаха при $r = 15$ t_{15}
M	β				
78649.92	1.000397	—46.53	31.25	±0.12	30.77
74400.49	1.000415	—46.34	30.83	±0.14	30.40
64888.70	1.000476	—45.88	30.91	±0.07	30.40
58453.97	1.000528	—45.83	30.86	±0.23	30.28
86049.16	1.0003261	—42.19	28.05	±0.16	28.01
392382.91	1.000114	—66.71	44.73	±0.06	44.49
40963.37	1.000934	—56.26	38.23	±0.22	37.38
38535.64	1.000998	—56.77	38.43	±0.11	37.20
81068.55	1.000214	—25.33	17.35	±0.17	17.13

понятия о декременте, т. е., говоря точнее, отыскиваю закон его уменьшения с убылью r или с возрастанием n, так как чрез это достигается не только связь этого исследования с тем, что применяется всегда при изучении колебаний, но и упрощаются все соображения. Задача, предстоявшая при разработке данных табл. 3, состояла поэтому прежде всего в нахождении сглаженных (лишенных случайных по-

[1] Время T_0, отвечающее $n = 0$, получается у нас всегда отрицательным, потому что счет времен начинается, когда $n = 1.5$, а потому T_0 близко к $-1.5\ t_0$, так как t_0 отвечает времени размаха (от равновесия до равновесия) при $n = 0$.

[2] Между T_0 и t_0 есть точное соответствие, находимое из того, что $t_n = t_0\ \beta^{-n}$, а потому от $n = 0$ до $n = 1.5$ пройдет время $= t_0\ \beta^{-1.5}$, следовательно, если бы при $n = 1.5$ время было бы точно равно 0, время T_0, отвечающее $n = 0$, было бы $= -t_0\beta^{-1.5}$. Но равенство $T_0 = -t_0\beta^{-1.5}$ не наблюдается вполне по той причине, что в определении момента $T_{1.5}$ существует такая же погрешность, как во всех иных определениях времен, даже, быть может, и немного бóльшая, так как всегда при начале наблюдений глаз (и рука) еще не приобретает полной остроты. Поэтому T_0 то более, то менее $-t_0\beta^{-1.5}$. Так, в n° 940, судя по t_0, должно было бы ждать $T_0 = -57.6$, а получилось около —56.8, а в n° 935 надо бы ждать около —67.0, а получено —67.7. Если бы разность была всегда в одну сторону, можно было бы подозревать неточность [в] (V), но так как разность то положительна, то отрицательна, ее причину должно искать в погрешности определения момента $T = 0$ при $n = 1.5$. При первых своих расчетах я вводил это данное, но скоро получил убеждение в том, что оно содержит обыкновенно большую погрешность, чем дальнейшие данные.

грешностей) значений r и D при данных n в каждом ряде наблюдений. Сперва (и чаще всего) при этом я шел путем интерполирования логарифмов отклонений, так как это дает сразу и сглаживание r и сглаженные D, а именно бралось по 11 соседних данных, из них находились параболы 2-го порядка для $\log r$ и получались $\log D$, как в § 10, но скоро я убедился в том, что способ этот, совершенно пригодный для сглаживания отклонений r, дает близкий к действительности сглаженный декремент только для средней части взятой области,[1] а потому не привожу полученных результатов и обращаюсь к описанию двух приемов, на которых остановился и которые привели к полученным далее выводам. Приемы эти суть: 1) интерполирование (по способу наименьших квадратов — приемом П. Л. Чебышева, см. приложение 1) по 25 отклонений — параболою 3-го порядка, вида

$$\log r_n = A + Bn + Cn^2 + Dn^3,$$

что дает

$$-\log D_n = B + 2Cn + 3Dn^2,$$

и 2) отдельное нахождение сглаженных r и D из 5 или 7 соседних данных для среднего n.

Интерполирование по 25-ти данным, хотя не лишено утомительности для расчисления, представило кроме других выгод — ту, что каждое наблюдение давало только два уравнения и часть данных (от $n=23$ до $n=27$) около средины ряда входила в оба уравнения, что и служило к взаимной их проверке. Так как расчет был производим по параболе 3-го порядка, то ею охватывались гораздо лучше, чем параболами 2-го порядка, общие изменения r и D даже таких рядов, где начальный размах велик. Однако я убедился впоследствии, что декремент, получаемый этим путем при малых r, т. е. в последней половине каждого ряда, не удовлетворял всем требованиям действительности, что и заставило, под конец, остановиться над далее излагаемым приемом расчета. Тем не менее я приведу формулы, полученные для многих рядов по этому способу, так как они могут служить для различных целей и труд их нахождения не легок. Рас-

[1] Особенно, если в области интерполируемых логарифмов содержатся местные пертурбации. Ввиду их я и перешел к интерполированию по 25 данным сразу, надеясь путем этим устранить влияние местных пертурбаций.

четы, кроме меня самого, велись и *проверялись* г-жами О. Э. Озаровскою и Е. Ф. Эндимионовой, а также А. Н. Доброхотовым.

Общую схему результатов, полученных для первой части каждого ряда, где брались данные от $n=3$ до $n=27$, выразим равенством:

$$10^4 \log r_3^{27} = A' + B'(n-15) + C'(n-15)^2 + D'(n-15)^3,$$

а последней части каждого ряда, где вошли данные от $n=23$ до $n=47$, равенством:

$$10^4 \log r_{23}^{47} = A'' + B''(n-35) + C''(n-35)^2 + D''(n-35)^3,$$

а потому для каждого ряда находилось 8 постоянных: A', B', C', D' и A'', B'', C'' и D'', значения которых и приведены в прилагаемой табл. 6.

Не подлежит сомнению, что при достаточной степени точности данных, т. е. там, где размахи довольно значительны (например для n от 3 до 27), знаки параболических коэффициентов правильно[1] переменяются (+ — + — [плюс — минус — плюс — минус]) и что есть правильная последовательность или взаимная зависимость между величинами коэффициентов при разных степенях n, что дает уже повод ждать более простого и более полного выражения зависимости r от n. Для отыскания этой зависимости[2] я и применил найденные формулы, определяя по ним как r, так D для $n=5$, 10, 15 и т. д., причем принимал во внимание преимущественно только те данные, для которых r было не менее 10 div., так как при меньших отклонениях можно было ждать как в r, так особенно в D — больших уклонений от нормы из-за относительно большой погрешности отсчетов, чего не могло совершенно устранить ни интерполирование, ни сглаживание.

Тем не менее, в интересе дела, не следовало бы избегать и наблюдений, в которых r малы — только надлежало прини-

---

[1] Этого нет только для некоторых данных от $n=23$ до $n=47$, но здесь вообще точность наблюдений, как объясняется в § 2, меньше, потому что размахи меньше; особенно они малы в п° 938 (см. табл. 1, § 12), а потому тут даже при C'', вместо обычного +, стоит — [минус]. Причину должно искать прежде всего в относительно малой отчетливости данных.

[2] При разложении в (сходящуюся) строку далее выводимая зависимость дает именно члены с последовательною переменою знаков.

Табл

Коэффициенты интерполяционных формул

n°	A'	B'	C'	D'
927	10474.2	−139.56	+0.926	−0.0118
929	14698.8	−154.94	+0.7099	−0.04006
930	8531.4	−134.62	+0.895	−0.0394
933	10429.2	−110.964	+0.7831	−0.02894
936	13633.0	−228.625	+1.9708	−0.04474
938	7682.3	−193.398	+0.8443	−0.01254
940	15213.1	−221.016	+1.512	−0.0460
	n от 3 до 27			

мать во внимание меру погрешности, свойственной таким данным, особенно для D. В § 2 показано, что погрешность Δ *единичного* определения декремента *может достигать* величины

$$\Delta = \delta \frac{D(D+1)}{R_1},$$

так как (§ 6) δ (погрешность отсчета) или погрешность r оло ± 0.8 div. и D около 1.05 (для весов Неметца), а R чти $= 2r$, то для единичного определения декремента

$$\Delta = \pm 0.8 \frac{1.05 \cdot 2.05}{2r} = \pm \frac{0.86}{r}.$$

Но так как интерполирование по 25 данным, сглаживая r, льно сбавляет влияние случайных погрешностей отсчета,[1] я думаю, что декремент, найденный из такой интерполяционной формулы, содержит гораздо меньшую погрешность, м указанная, и если положить, что средняя погрешность

[1] В виде примера привожу для n° 936 сличение наблюдений с расче- л по указанной параболической формуле

	n =	5	10	15	20	25
По наблюдению	r =	41.36	30.40	23.06	17.88	14.17
По формуле	r_n =	41.32	30.42	23.08	17.92	14.12
Разность		+0.04	−0.02	−0.02	−0.04	+0.05

Средняя квадратическая разность ± 0.04 показывает, по крайней мере, такую среднюю погрешность в отсчетах, которая интерполированием убавлена.

ица 6

для 25 следующих друг за другом log r

A''	B''	C''	D''
7945.1	−118.96	+0.390	+0.0065
11709.2	−138.876	+0.843	+0.00599
6078.4	−114.46	+0.120	−0.0091
8368.0	− 89.062	+0.4953	−0.04950
9645.6	−172.551	+0.78095	−0.05437
4215.8	−148.885	−0.1169	−0.12483
11183.5	−183.33	+0.858	+0.00676
	n от 23 до 47		

отсчета $\delta = \pm 0.4$ div.,[1] то почти можно быть уверенным, что в декременте, разочтенном по интерполяционной формуле, *в среднем выводе*, содержится погрешность не более как

$$\Delta_{25} = 0.675\sqrt{\frac{25\,\Delta^2}{25\cdot 24}} = 0.14\,\Delta = \pm\frac{0.06}{r}.$$

Отсюда видно, что, например, в ряде n° 936 первые r, близкие к 45 div., дадут D с погрешностью, конечно, не более чем ± 0.0013, а последние размахи, когда r около 6 div., в D может быть погрешность до ± 0.0100, т. е. в $7^1/_2$ раз бóльшая. Такие же соображения относятся к целым рядам, подобным n° 938, где все размахи малы, например в указанном ряде от 10 до 1.6 div. Словом, отыскивая в наблюденных данных естественный закон убыли размахов, надлежало преимущественно исследовать те наблюдения, в которых r отвечает значительному количеству делений шкалы (div.). Поэтому обратим главное внимание на начальные размахи рядов, подобных n°n° 940 и 931 (см. табл. 1, § 12), где r наибольшие.

Но прежде чем приступить к этому, должно объяснить второй, затем наиболее применявшийся, способ нахождения сглаженных r и D по данным наблюдений и сличить его с вышеуказанным способом (интерполяция по 25). Способ этот составляет (для D) видоизменение того, который указан-

[1] Что дает $\Delta = \pm 0.43/r$, так как для возможной погрешности, принимая δ вдвое больше, чем 0.4, выше выведено $\Delta = \pm 0.86/r$.

Табл

Сглаженные (по 7 соседним) отклонения r_n (в div.), полу

n° \ n =	5	10	15	20
917	40.63	32.42	26.16	21.43
918	38.60	30.78	24.99	20.37
921	51.43	41.74	34.47	28.89
922	31.45	25.99	21.56	18.20
923	13.26	11.08	9.58*	8.21
926	43.84	36.34	30.49	26.08
927	15.73	13.12	11.19*	9.50
928	42.20	34.58	28.78	24.12
929	43.22	35.40*	29.52	24.77
930	10.03*	8.40*	7.12	6.14
931	46.58	37.76	30.99	25.73
932	12.33	10.68*	9.35*	8.26*
933	14.62	12.64*	11.05	9.78
934	27.75	24.92	22.62*	20.56
935	32.81	29.50	26.86	24.53*
936	41.30	30.46	23.04	17.91
938	9.36	7.36	5.90	4.70*
940	57.68	43.33	33.17	25.97
	n = 6	11	16	21
957	14.72	11.35	8.79	6.89
958	17.79	13.87	10.78	8.38

Примечание к табл. 7.

Звездочкою (*) означены такие отклонения r, около которых замечены — при сглаживании — пертурбации. При сглаживании (по 7 данным) получаются три суммы; 1) $r_{n-3} + r_{n+3}$, 2) $r_{n-2} + r_{n+2}$ и 3) $r_{n-1} + r_{n+1}$ и имеется среднее сглаживаемое наблюдение r_n. Если колебания совершаются правильно и r содержат только неизбежные погрешности отсчетов, то суммы последовательно убывают, вследствие вогнутости кривой r по n, и $r_{n-1} + r_{n+1}$ более 2 r_n. Если же совершается пертурбация (§ 11), то эта правильность нарушается. Тогда при получаемом числе r_n ставится звездочка. Например, в наблюдениях n° 931 при сглаживании r_{10} получаются суммы $r_7 + r_{13} = 76.43$; $r_8 + r_{12} = 75.84$; $r_9 + r_{11} = 75.59$, т. е. суммы

ница 7

ченные из наблюденных данных (табл. 3, § 12)

25	30	35	40	45
17.82	14.78	12.44*	10.43	8.92
16.90	14.18	11.87	10.13	8.65*
24.12	20.37	17.35*	14.76	12.76
15.59*	13.39	11.59	10.19*	8.91
7.13	6.18	5.51	—	—
22.40	19.28	16.80	14.65*	12.80
8.26*	7.15	6.26*	5.45*	4.79*
20.36	17.24	14.63	12.55*	10.78*
20.81	17.49	14.85*	12.66	11.03
5.28	4.62*	4.08*	3.54	3.11*
21.36	17.96	15.25	12.97	11.22*
7.34*	6.57	5.85	5.34*	4.68
8.63*	7.63	6.82*	6.19	5.61*
18.79*	17.06*	15.50	14.28*	13.02*
22.32	20.49	18.67*	17.05	15.57
14.12	11.37	9.16	7.61*	6.23*
3.83	3.20*	2.60*	2.24*	1.80*
20.44	16.28	13.15	10.64	8.81*
26				
5.35*				
6.59				

последовательно убывают; при сглаживании же r_5 в п° 930 этого нет: $r_3 + r_7 = 20.08$; $r_4 + r_6 = 20.09$ и $2r_5 = 20.04$, а потому здесь поставлена звездочка. Особо много таких знаков при наблюдениях над малыми размахами, например в п° п° 930 и 938. Часть пертурбаций, быть может лишь кажущихся, зависит, по всей вероятности, только от неизбежных погрешностей отсчета, но отличить эти последние от истинных пертурбаций нет прямой возможности, а потому при всех замеченных ставилась звездочка. Но такие наблюдения все же вводились в дальнейшие расчеты, чтобы не нарушать непрерывность рядов. Истинные пертурбации (например, при $n = 45$ в п° 940) ясно видны и при расчете (§ 16).

был в § 10 при п° 883 (стр. 470) и состоит в том, что r находится из 7 соседних данных простым сглаживанием по упоминавшейся ранее формуле

$$r_n = \frac{1}{21}[7r_n + 6(r_{n+1} + r_{n-1}) + 3(r_{n+2} + r_{n-2}) - 2(r_{n+3} + r_{n-3})].$$

Только для r_5 сглаживание производилось не по 7, а по 5 данным, так как r_2 по способу, принятому для расчета L, не могло быть известным. Разочтенные этим путем «сглаженные» r для всех 20 рядов (см. табл. 3, § 12) даны в табл. 7. Для дальнейших наших исследований это самая важная таблица чисел, подвергавшихся расчету. Что же касается до вывода сглаженных декрементов, относящихся до тех n (5, 10...45), для которых найдены сглаженные r, то, руководясь соображениями, высказанными в § 10 по поводу п° 883, я придерживался следующих способов: 1) если r более 20, то $\log D$ находился из 7 и 9 ближайших $\log r$ и бралось среднее;[1] 2) если $r < 20$, но > 5 div., то $\log D$ выводился как среднее из 9 и 11 соседних $\log r$;[2] 3) для $n = 5$ — $\log D$ находился по интерполяционной формуле из данных $\log r$ для $n = 3$, 4, 5, 6 и 7;[3] 4) для $n = 45$ значение $\log D$ находилось по $\log r$ для n от 42 до 48 чрез взятие разностей $\log r_n - \log r_{n+1}$, а затем из 6 полученных разностей брались последовательно средние, пока не получалось окончательное число, например для п° 936 имеем:

$n =$	42	43	44	45	46	47	48
$\log r_n =$	0.84073	0.82543	0.81358	0.79657	0.77452	0.75815	0.74351
$\log D$ (разности) =		0.01530	0.01185	0.01701	0.02205	0.01637	0.01464
1-е среднее =			0.013575	0.014430	0.019530	0.019210	0.015505
2-е » =				0.14002	0.016980	0.019370	0.017357
3-е » =					0.015491	0.018175	0.018364
4-е » =						0.016833	0.018269
Принят $\log D_{45} =$						0.017551	

[1] Например, в п° 936 для определения D при $n = 10$ из $\log r_6 = 1.58490$ вычитается $\log r_{14} = 1.38507$, и разность, деленная на 8, равна 0.0249775, а $\log r_7 - \log r_{13}$, при делении на 6, дают $\log D_{10} = 0.0250383$, а потому в среднем $\log D_{10} = 0.025008$, т. е. $D_{10} = 1.0593$.

[2] Например, для того же п° 936 D_{25} определялось из $\log r_{21} - \log r_{29}$, деля на 8 (получено 0.019842), и из $\log r_{20} - \log r_{30}$, деля на 10 (= 0.019699), среднее дает $D_{25} = 1.0466$.

[3] Например, в п° 936 первые 5 данных дают по способу наименьших квадратов: $\log r = 1.615873 - 0.028663(n - 5) + 0.0002036(n - 5)^2$, откуда при $n = 5$ $r = 41.29$ и $D = 1.0682$.

Указанных приемов для вывода сглаженных r и D я стал держаться только после испытания многих иных приемов, о которых, как менее удовлетворительных, не считаю нужным писать.

Следовательно $D_{45}=1.0412$. По первому способу (интерполируя по 25) получается $D_{45}=1.0407$, разность 0.0005 гораздо менее возможной здесь погрешности ± 0.0097 (так как $r=6.2$ div.).

Называя r и D, сглаженные по только что описанному приему — [вычисленными] вторым способом,[1] покажем на примере меру различия и сходства обоих приемов:

(n° **929**)	$n=$	5	10	15	20	25	30	35	40	45
По наблюдению	$r=$	43.22	35.31	29.53	24.81	20.81	17.50	14.93	12.67	11.04
» 1-му способу	$r=$	43.24	35.45	29.50	24.76	20.79	17.47	14.82	12.70	10.99
» 2-му »	$r=$	43.22	35.40	29.52	24.77	20.81	17.49	14.85	12.66	11.03

(n° **936**)	$n=$	5	10	15	20	25	30	35	40	45
По 1-му способу	$D=$	1.0670	1.0597	1.0541	1.0501	1.0480	1.0434	1.0405	1.0396	1.0407
» 2-му »	$D=$	1.0682	1.0593	1.0544	1.0498	1.0466	1.0435	1.0404	1.0384	1.0412

Уже из этого сопоставления очевидно, что сглаженные r очень мало различаются при нахождении их разными способами, а потому я и остановился затем исключительно на 2-м способе, как гораздо более удобном. В сглаженных же декрементах, при общем их уменьшении, замечаются различия (однако, никогда не превосходящие возможных здесь погрешностей), получаемые при различных способах расчета, что и заставляло меня вовсе не искать для наблюдений декрементов, когда найдено было этим путем основное положение о зависимости D от r, о чем говорится в следующем параграфе. Но для вывода этого положения я пользовался декрементами, определенными по одному из двух указанных способов, или, когда он находился по обоим способам (как для n°n° 929, 936 и др.), я брал из них среднее.

§ 15. Для суждения о законности в убыли декрементов и размахов или отклонений необходимо временно отрешиться от связи этой убыли с возрастанием n, или числа наблюденных элонгаций, потому что счет n можно начать с произвольно избранной элонгации. Поэтому в этом параграфе мы исключительно будем разыскивать зависимость между r и D, не обращая внимания на n.

Уже при рассмотрении предварительных наблюдений (§ 10) была заметна связь между уменьшением отклонений r и падением декремента D. Эту зависимость здесь и рассмотрим, пользуясь вышеуказанными (§ 14) сглаженными значениями обеих величин.

---

[1] Первым способом названо вышеописанное интерполирование (по способу наименьших квадратов) 3-го порядка по 25 данным (табл. 6).

Для начала подробнее разберем ряд n° 936, так как он служил уже и выше многократно примером для выяснения того, что относится до всех наблюдений, описанных в § 12.

Свод полученных здесь данных (для D среднее по двум способам) есть следующий:

$r =$	41.30	30.46	23.04	17.91	14.12	11.37	9.16	7.61	6.23
$D =$	1.0676	1.0595	1.0542	1.0499	1.0478	1.0435	1.0404	1.0390	1.0410

По всему тому, что сообщено ранее, не может подлежать сомнению: 1) что в сглаженных r содержится однообразная небольшая средняя погрешность, высшею мерою которой должно считать ± 0.1 div., а вероятною среднею от ± 0.04 до ± 0.06 div., и 2) что в сглаженных D средняя погрешность обратно пропорциональна r и различается так, что она едва ли более чем $\pm 0.06/r$, так что для 1-го данного она около ± 0.0015, а для последнего едва не ± 0.0100, т. е. раз в 7 значительнее первой. Приняв это во внимание, тотчас можно видеть, что прямолинейная зависимость D от r отвечает данному случаю с полною удовлетворительностью — в пределе возможных погрешностей.[1] Действительно прямая:

$$D_n = 1.035 + 0.000805 r_n,$$

[1] На первый взгляд может показаться, что убыль декремента, как убыль времен размаха (§ 13), можно признать зависящею от числа предшествующих размахов и выразить

$$D_n = \frac{D_0}{q^n} \qquad (A)$$

(где q есть декремент декремента), потому что тогда, как и есть в действительности, сначала — при первых размахах — убыль декремента будет значительна, а потом станет уменьшаться, но следствия, вытекающие из этого (A) допущения, не позволяют его принять. Действительно, подставляя значение D_n в основное равенство (которое есть определение декремента — наиболее строгое и ясное)

$$\log D_n = -\frac{d(\log r_n)}{d(n)}$$

и производя интегрирование, получаем

$$\log r_n = \log r_0 - n \log D_0 + \frac{1}{2} n^2 \log q, \qquad (B)$$

т. е.

$$r_n = \frac{r_0}{D_0^n} q^{\frac{n^2}{2}},$$

а этого именно и нельзя принять за выражение действительности, так как: 1) мы уже знаем, что $\log r_n$ не выражается с достаточною точностью (на всем протяжении наблюдений) параболою 2-й, даже 3-й степени (§ 10, § 14); 2) выражение (B) дает minimum, а это не согласно с природою дела, так как нельзя себе представить, что размахи после убыли затем

отвечает декрементам D, найденным по сглаживанию, как видно из сопоставления:

(n° **936**) r =	41.30	30.46	23.04	17.91	14.12	11.37	9.16	7.61	6.23
Сглаженное D =	1.0676	1.0595	1.0542	1.0499	1.0478	1.0435	1.0404	1.0390	1.0410
По формуле $[D]$ =	1.0682	1.0595	1.0535	1.0494	1.0464	1.0441	1.0424	1.0411	1.0400
Разность 10^4 =	−6	0	+7	+5	+14	−6	−20	−21	+10
Возможная же погрешность: $\frac{0.06}{r} \cdot 10^4$ =	±15	20	25	33	43	53	65	79	96

Таким образом, возможная погрешность в 2—3 раза превосходит ту разность, которая существует между сглаженным фактом и его прямолинейным выражением.

Точно то же замечается во всех расследованных мною случаях, как отчасти указано было уже в § 10. Здесь же я особо рассмотрю группу наблюдений n° n° 929, 930[1] и 931, потому что во всех этих наблюдениях (табл. 1) весы (Неметца), навеска (607.4 г), чувствительность (1 div. = 0.053 мг) и плотность воздуха (e = 1.210 г), были одни и те же, а потому можно ждать, что и зависимость D от r будет одинаковою. Начнем с n° 931, так как ему соответствуют наибольшие размахи (R_1 = 110.0 и R_m = 19.7), а потому и выводы из него наиболее достоверны.

n° **931**[2] r =	46.58	37.76	30.99	25.73	21.36	17.96	15.25	12.97	11.22	div.
D =	1.0447	1.0418	1.0388	1.0386	1.0368	1.0344	1.0328	1.0320	1.0253	
n° **929** r =	43.22	35.40	29.52	24.77	20.81	17.49	14.85	12.66	11.03	div.
D =	1.0428	1.0387	1.0364	1.0356	1.0357	1.0344	1.0328	1.0303	1.0299	
n° **930** r =	10.03	8.40	7.12	6.14	5.28	4.62	4.08	3.53	3.11	div.
D =	1.0386	1.0343	1.0315	1.0300	1.0290	1.0272	1.0267	1.0266	1.0268	

станут возрастать, и 3) выражения, подобные (B) (при расчете по ним всего ряда данных), дают такие отступления от действительности, что их нельзя объяснить ни погрешностями отсчетов, ни пертурбациями, как видно по многим расчетам, произведенным мною. Воспроизводить их считаю излишним.

[1] Необходимо, однако, заметить, что в n° 930: 1) размахи очень малы, 2) равновесия быстро меняются (205.51 при n = 3; 204.95 при n = 20) и 3) много пертурбаций (табл. 7), а потому они вообще мало пригодны для выводов.

[2] Приводимые для декрементов данные в n° 931 получены по 2-му способу (§ 14). Для n° 930 получены D по 1-му способу, а для n° 929 — по обоим способам и дано среднее. Отклонения r везде даны по 2-му способу (табл. 7).

Совокупность этих данных вполне выражается в следующем виде:[1]

	n° 931			n° 929			n° 930		
Даны:	$r =$ 42.17	26.03	14.35	39.31	25.03	14.01	9.21	6.18	3.84
	$D =$ 1.0432	1.0381	1.0312	1.0408	1.0359	1.0318	1.0365	1.0302	1.0268
По формуле $[D =]$	1.0425	1.0364	1.0320	1.0414	1.0360	1.0318	1.0300	1.0289	1.0279.

Выражая всю совокупность этих данных одною линейною формулою

$$D = 1.0265 + 0.00038\, r,$$

как видно по числам, можно достичь простейшего обобщения большого числа наблюдений, не выступая из пределов возможных погрешностей, что, до некоторой степени, говорит в пользу допущения, по крайней мере в первом приближении, таких двух исходных положений:

1) *при уменьшении размахов* R *или отклонений* r *(колеблющихся весов) декремент уменьшается* и

2) *уменьшение декремента* D *совершается так, что его можно считать пропорциональным уменьшению отклонений* r, а именно:

$$D_n = d + \alpha r_n, \qquad \text{(VIII)}$$

где d и α суть постоянные — для данных весов при определенных условиях взвешивания.[2] К этому следовало бы прибавить третье исходное положение или допущение: *по мере уменьшения размахов декремент приближается к предельному значению* d, которое более единицы, но, во-первых, это уже содержится во 2-м положений, и, во-вторых, желая оставаться на твердой почве действитель-

---

[1] Так как степень точности D в каждом ряде уменьшается с уменьшением r, то для придания более равномерной и уменьшенной погрешности в каждом ряде взято среднее из первых двух, из трех следующих и из 4 последних данных.

[2] Т. е. по предположению: d и α не зависят от величины размахов или отклонений.

ности, я не имею в виду выставлять гипотезу, содержащуюся в этом третьем положении, потому что, кроме следствий из формулы (VIII), ничем не могу ее подтвердить, так как прямой опыт при очень малых размахах не может дать надежных чисел для декремента.

В дальнейших частях предлагаемого исследования два указанные положения — условно (т. е. в первом приближении) приняты за исходные, а потому выставляемые далее сличения формул с наблюдениями служат косвенным утверждением этих положений.[1]

§ 16. Физический смысл выражения (VIII) состоит прежде всего в том, что уменьшение декремента колебаний весов идет не беспредельно (т. е. не до единицы — иначе весы бы колебались вечно), а лишь до предела d, которого достигает декремент при размахах, приближающихся к нулю, или тогда, когда достигается равновесие.[2] Следовательно, величина d есть *предел* уменьшения декремента. Этим сводится изучение колебаний на почву, доступную для математического рассмотрения, которое я постараюсь, однако, по возможности сократить и упростить, чтобы затем обратиться к более реальным сторонам явлений колебания весов, предполагая со временем, если представится возможность, рассмотреть предмет с иной его стороны, когда мне удастся преодолеть некоторые трудности, встретившиеся на пути исследований, сделанных в этом направлении, и когда соберу данные для размахов, имеющих большую угловую величину. Теперь же я предложу лишь алгебраическое (элементарное) решение, которое, ввиду возможных погрешностей наблю-

---

[1] Наши наблюдения дают некоторое основание думать, что декремент, при прочих равных условиях, изменяется не только вместе с абсолютною величиною r, но и в зависимости от величины первого (начального) размаха, но разности этого рода так малы, что входят почти в пределы возможных погрешностей, и я не решаюсь утверждать общность здесь высказанного замечания. Думаю притом, что после арретирования и при больших начальных размахах средний (а также и боковые) нож коромысла может немного перемещаться на своей подушке, а это должно влечь за собою перемену трения, а тогда и декремент может отчасти изменяться. Но и это замечание я не считаю вытекающим из наших наблюдений, ввиду возможных погрешностей, рассмотренных в § 2.

[2] Подобный же способ выражения убыли времен размахов t испробован мною с успехом, но я его не привожу по той причине, что большинство данных уже разочтено ранее по приему, указанному в § 13. Считая $t_r = t_{r=0} + \beta r$ и зная, что $t = d(T)/d(n)$, можно вывести β и $t_{r=0}$, но я считаю излишним останавливаться над рассмотрением вытекающих из этого следствий, так как, по мере возможности, предполагаю возвратиться к этому предмету после новых наблюдений над временами T.

дений, можно считать удовлетворяющим задаче, состоящей в выражении — на основании (VIII) — зависимости r от n — помощью d, α и r_0, т. е. величины начального (не наблюдаемого) отклонения.

Примем переменный декремент

$$D_n = \frac{r_n}{r_{n+1}} .^1$$

Мы нашли из наблюдений, что в пределе их точности можно принять

$$D_n = d + \alpha r_n,$$

а потому

$$\frac{r_n}{r_{n+1}} = d + \alpha r_n,$$

следовательно

$$r_{n+1} = \frac{r_n}{d + \alpha r_n}.$$

На основании этого

$$r_1 = \frac{r_0}{d + \alpha r_0},$$

$$r_2 = \frac{r_1}{d + \alpha r_1} = \frac{r_0}{\alpha r_0 (1 + d) + d^2},$$

$$r_3 = \frac{r_2}{d + \alpha r_2} = \frac{r_0}{\alpha r_0 (1 + d + d^2) + d^3} \quad \text{и т. д.}$$

Вообще

$$r_n = \frac{r_0}{\alpha r_0 (1 + d + d^2 + \ldots + d^{n-1}) + d^n},$$

---

[1] В этом допущении и лежит причина не абсолютной точности далее предлагаемого вывода, так как D_n не есть, строго говоря, отношение r_n к r_{n+1}, равно как он не есть отношение r_{n-1} к r_n, а есть отношение промежуточное между двумя указанными. Но их разность столь мала, что при наблюдении трех отклонений ее, конечно, нельзя открыть, а потому и можно удержать указанное в тексте определение D_n. Оно будет точным в опытном смысле, т. е. может удовлетворять задаче. Во всяком случае точное решение отличается от здесь предлагаемого на величины, почти не ощутимые в наших наблюдениях, что можно доказать.

откуда

$$r_n = \frac{r_0}{\alpha r_0 \frac{d^n - 1}{d - 1} + d^n}. \qquad (IX)$$

Чтобы придать этому выражению удобство расчета, примем следующие обозначения:

$$\frac{\alpha}{d-1} = N,$$

$$N + \frac{1}{r_0} = K.$$

Тогда

$$\frac{1}{r_n} = Kd^n - N. \qquad (X)$$

Очевидно, что ни d, ни α, ни постоянная величина N не зависят от начального отклонения r_0, тогда как K — зависит, и что полный расчет по выражению (X) легко возможен из 3 данных наблюдений. Но так как d мало отличается от единицы, то $d-1$ есть дробное число. Еще его менее величина α, а потому N должно быть числом малым, а K, хотя бо́льшим, чем N, но все же меньшим, чем единица, тогда как d немногим более единицы. В этом и в том, что для трех искомых (N, K и d) надо воспользоваться многими (9-ю по табл. 7) данными, по возможности избегая погрешностей, им свойственных, содержится причина трудности и сложности расчетов. Для того чтобы не обращаться с дробными величинами $\frac{1}{r_n}$, K и N, я все их умножаю на 10^6, так как миллионные их доли совершенно неощутимы в опыте. Тогда K и N получают значение целых чисел, обыкновенно в несколько тысяч, и только d остается как число, немногим превышающее единицу.

Испробовав различные приемы вывода N, K и d из наблюденных r_n, взятых по табл. 7, я остановился на следующем способе, который и применен для нахождения численных выводов, данных в табл. 8.

Сперва из 9 данных $\frac{1}{r_n}$ (где n равно отстоят друг от друга на 5, а именно $n = 5, 10, \ldots 40, 45$) выводится пять наиболее

достоверных значений N;[1] из них отбрасываются два, наиболее различающиеся от среднего (чтобы по возможности избежать влияния случайных погрешностей), а из остальных трех берется среднее, которое и принимается за N для дальнейшего расчета. Зная N, определяли $\frac{1}{r_n} + N$ для всех 9 данных; логарифмы этих сумм интерполировались по выражению, вытекающему из (X):

$$\log\left(\frac{1}{r_n} + N\right) = \log K + n \log d.$$

Для интерполирования брались: 1) все 9 данных, 2) 7 первых, 3) 5 первых и 4) 3 первых данных и таким образом получалось по 4 значения K и d. Из них одно, наиболее удаляющееся от остальных, отбрасывалось, а из трех оставшихся бралось среднее.

Для ясности прилагаю в виде примера полный расчет наблюдений п° 940.

---

[1] Вывод N — при равных расстояниях (по n) данных $\frac{1}{r}$ — производится из 3 данных, по возможности далеко друг от друга отстоящих, на основании того, что по формуле (X)

$$\frac{1}{r_n} + N = Kd^n; \quad \frac{1}{r_{n+m}} + N = Kd^{n+m} \quad \text{и} \quad \frac{1}{r_{n+2m}} + N = Kd^{n+2m},$$

откуда

$$N = \frac{\left(\frac{1}{r_{n+m}}\right)^2 - \frac{1}{r_n} \cdot \frac{1}{r_{n+2m}}}{\frac{1}{r_n} + \frac{1}{r_{n+2m}} - 2\frac{1}{r_{n+m}}}.$$

Для расчета N я брал на основании соображений, понятных без дальнейшего разъяснения, только данные, для которых $m = 20$, 15 и 10 и притом с преобладанием первых, наиболее точно находимых данных (r наибольшие), а именно следующие 5 комбинаций:

1) $n = 5$, 25 и 45
2) $n = 5$, 20 и 35
3) $n = 5$, 15 и 25
4) $n = 10$, 25 и 40
5) $n = 10$, 20 и 30

Так получилось 5 значений N.

На основании чисел табл. 7, получаем:

$n=$	5	10	15	20	25	30	35	40	45
$\frac{10^6}{r}=$	17337	23079	30148	38506	48924	61425	76046	93985	113507

Из $n=5$, 25 и 45 получается $10^6 N=12901$
» $n=10$, 25 и 40 » $10^6 N=11682$
» $n=5$, 20 и 35 » $10^6 N=10036$
» $n=10$, 20 и 30 » $10^6 N=8687$
» $n=5$, 15 и 25 » $10^6 N=10177$

Первое и четвертое значения N не введены в дальнейший расчет, так как они наиболее отличаются от среднего,[1] а остальные три в среднем дают

$$10^6 N=10632.$$

Прикладывая это N ко всем 9 данным, получаем значения Kd^n. Их логарифмы суть:

4.44667694, 4.52777164, 4.61044722, 5.69141748, 4.77492552,
4.85767618, 4.93790888, 5.01960226, 5.09390826.

Отсюда получаем интерполированием по способу наименьших квадратов линейное равенство вида $\log Kd^n=A+Bn$, где $A=\log 10^6 K$ и $B=\log d$. А именно, взяв

Все девять: $\log 10^6 K=4.36623722$; $\log d=0.016285330$
Первые семь: $\log 10^6 K=4.36412011$; $\log d=0.016414165$
» пять: $\log 10^6 K=4.36420486$; $\log d=0.016402860$
» три: $\log 10^6 K=4.36452499$; $\log d=0.016377028$

Первый из этих выводов отбрасывается,[2] потому что наиболее отличается от среднего, а из остальных в среднем получаем:

n° 940 $\begin{cases} \log 10^6 K=4.36428332, & \text{следовательно } K=0.023136 \\ \log d \quad =0.01639802, & \text{» } \quad d=1.038478. \end{cases}$

---

[1] Повидимому, это указывает на погрешность в наблюдении при $n=45$, не исчезнувшую при сглаживании. Исключение это отвечает пертурбации, замечаемой около $n=45$.

[2] Причину наименьшей удовлетворительности чисел, полученных из всех девяти данных, должно искать в том, что при этом взято значение при $n=45$, а около того места, несомненно, имеется пертурбационная неправильность.

Поэтому для выражения изменений r в наблюдениях n° 940 должно прилагать формулу

$$r_n = \frac{10^6}{23136\,(1.038478)^n - 10631}\,.$$

Степень приложимости этой формулы к наблюдениям видна из сопоставления:

(n° 944)	1) Наблюденные	2) Сглаженные	3) По формуле	Разность 2) — 3)
		$r_n =$		
При $n =$ 5	57.67 div.	57.68	57.77	—0.09 div.
» 10	43.30 »	43.33	43.26	+0.07 »
» 15	33.15 »	33.17	33.19	—0.02 »
» 20	26.01 »	25.97	25.91	+0.06 »
» 25	20.47 »	20.44	20.48	—0.04 »
» 30	16.23 »	16.28	16.34	—0.06 »
» 35	13.15 »	13.15	13.14	+0.01 »
» 40	10.66 »	10.64	10.62	+0.02 »
» 45*[1]	8.82* »	8.81*	8.63*	+0.18* »

Даже включая заведомо неподходящее (по причине пертурбации) наблюдение при $n = 45$, оказывается, что формула (X) дает — противу сглаженных чисел — разность (квадратическую) в среднем менее ± 0.08 div., а без данного для $n = 45$ около ± 0.05 div., чего можно всегда ожидать, даже после сглаживания.[2]

Для n°n° 957 и 958 (где наблюдено не 50, а всего 32 элонгации) предшествующий прием немного видоизменен, а потому привожу в виде примера расчет n° 957-го. Дано 5 сглаженных r_n, из них находятся:

$n =$	6	11	16	21	26
$\frac{10^6}{r_n} =$	67935	88106	113766	145138	186916

[1] Звездочка (*) показывает, что близ этого размаха замечается пертурбация.

[2] Чтобы показать, как много зависят численные значения K, N и d от способа расчета, я считаю не излишним привести, что одно из выражений, найденных при разных пробах расчетов, дает точно такую же, как здесь, среднюю погрешность, а именно $10^6/r = 22948\,(1.03862)^n - 10414$. Зависит это от свойств выражения (X), для которого — в данных пределах n — сумма квадратов разностей почти одинакова при больших единовременных изменениях N, K и d. Это составляет неудобство формулы (X) и трудность расчета ее постоянных.

Четыре значения N получены так:

$n=$ 6, 16 и 26:	$10^6 N=$ 8953
6, 11 и 16:	6188
11, 16 и 21:	27166
16, 21 и 26:	—19191

Одно из этих четырех значений, а именно последнее,[1] исключается, так как наиболее отличается от общего среднего, а из остальных трех получается

$$10^6 N = 14002.$$

Тогда определяются пять сумм $-10^6 N +$ данные $\left[\frac{10^6}{r_n}\right]$ — и берутся их логарифмы

$$\log\left(10^6 N + \frac{10^6}{r_n}\right) =$$

$$= 4.91348006,\ 5.00905977,\ 5.10642210,\ 5.20177935,\ 5.30301885.$$

Для нахождения $\log K$ и $\log d$ эти логарифмы сперва интерполируются все пять, потом три первых, а потом берется лишь два первых:

Из всех пяти:	$\log 10^6 K =$ 4.79577694	$\log d =$	0.019435943
» трех первых:	4.79741774		0.019294204
» двух »	4.79878441		0.019115942

Последнее из полученных значений отбрасывается, вследствие отличия от общего среднего и наименьшего числа данных, служившего для его вывода, а потому

$$\log 10^6 K = 4.79659734 \quad \text{и} \quad 10^6 K = 62603,$$
$$\log d = 0.01936507 \qquad d = 1.045600.$$

По этим N, K и d получается сличение формулы с наблюдением:

[1] Лишь только в наблюдениях содержатся какие-либо отклонения от нормы или пертурбации — величина N, вычисляемая прямо из сглаженных данных, часто приобретает очень разнообразные значения и даже вместо положительной становится иногда, как здесь, отрицательною. Но не должно упустить из виду, что, принимая данное N, мы тем самым до некоторой степени определяем и величину K, так что при большом разнообразии N точность выражения, как видно и здесь, может быть удовлетворительною. Из разнообразия же N или из неточности его определения можно заключить, что α также определяется с трудом, так как $\alpha = N(d-1)$.

$n=$	6	11	16	21	26
По наблюдению $r=$	14.69	11.35	8.77	6.90	5.38 div.
» сглаживанию $r=$	14.72	11.35	8.79	6.89	5.35* »
» формуле $r=$	14.75	11.33	8.79	6.86	5.39 »
Разность =	—0.03	+0.02	0	+0.03	—0.04 »

Средняя квадратическая разность между сглаженными числами наблюдений и числами, вычисленными по формуле, не превосходит ± 0.03 div.[1]

Подобная же близость наблюдений к расчету по формуле (X) замечается и во всех иных расследованных наблюдениях, особенно если не упустить из вида встречающиеся пертурбации и большую разность в относительной степени точности определений r при разной их величине.

Достаточная степень согласия расчета отклонений r по формуле (X) с наблюденными r показывает, что можно признать, в пределе возможных погрешностей, закон колебания весов, положенный в основу этой формулы, т. е. считать, что

$$D_n = d + \alpha r_n.$$

Очевидно, что в нем сущность дела, а потому целью изучения я далее и поставил не столько разыскание N и K, сколько определение d и α. Но в отношении этих величин, находимых из опытных данных, необходимо обратить внимание на то, что d есть предельный декремент, следовательно величина, определяемая с точностью того же порядка, как и D, или даже, быть может, еще с меньшею отчетливостью, но все же реальная величина, с ясным физическим смыслом, притом

[1] При этом и других подобных примерах можно показать, что такую же степень согласия данных с формулою можно достичь при довольно больших — соответственных — изменениях N, K и d. Так, например, приняв $N=0.01023$, $K=0.059175$ и $d=1.04736$, получаем для вышеуказанных n следующие r_n: 14.73, 11.33, 8.78, 6.84 и 5.35, а потому средняя квадратическая разность этих чисел от сглаженных даже менее ± 0.03 div. Принимая $K=0.05813$, $N=0.00903$ и $d=1.04785$, получаем еще меньшую среднюю квадратическую разность, а именно ± 0.011. Подобные явления определяются свойствами выражения (X) и редко позволяют узнавать величины d с точностью большею, чем ± 0.0005, даже ± 0.0008. Это необходимо не упускать из вида, обсуждая изменения d и α при разных обстоятельствах взвешиваний.

величина бóльшая, чем единица. Если положить в d, как в D, погрешность, достигающею при выводе из ряда 50 данных точности ± 0.0005, то *относительная* степень ее точности $\left(=\frac{\pm 0.0005.}{d}\right)$ будет около ± 0.0005, так как d немного превосходит единицу. Не такова относительная точность другой величины α. Она определяется косвенно:

$$\alpha = N(d-1),$$

т. е., если даже предположить абсолютную точность N, с такою относительною погрешностью, как $(d-1)$. Если погрешность $d = \pm 0.0005$ и само $d = 1.03$, то относительная погрешность $d-1$ и α равна $\pm 0.0005/0.03 = 0.017$, т. е. в несколько раз более, чем для d. Поэтому в дальнейшем изложении наше внимание более всего сосредоточивается на изменениях d при разных условиях взвешиваний, тем более, что *величина d не зависит от величины размахов* и есть предел уменьшающегося декремента. Если даны три наблюденных r, очевидно можно вывести r_0, d и α, но величина начального отклонения r_0 произвольна, а потому ни она, ни K — от нее зависящая — прямого интереса не представляют. Величины же N и d определимы непосредственно с тем большею точностью, чем больше наблюдено колебаний. Если взять три отклонения, ровно друг от друга отстоящие: r_n, r_{n+m} и r_{n+2m}, то

$$d^m = \frac{\frac{1}{r_{n+2m}} - \frac{1}{r_{n+m}}}{\frac{1}{r_{n+m}} - \frac{1}{r_n}} = \frac{r_n(r_{n+m} - r_{n+2m})}{r_{n+2m}(r_n - r_{n+m})},$$

а

$$N = \frac{\frac{1}{r_{n+m}^2} - \frac{1}{r_n} \cdot \frac{1}{r_{n+2m}}}{\frac{1}{r_n} + \frac{1}{r_{n+2m}} - 2\frac{1}{r_{n+m}}} = \frac{r_n r_{n+2m} - r_{n+m}^2}{r_{n+m}(r_n r_{n+m} + r_{n+m} r_{n+2m} - 2 r_n r_{n+2m})}$$

и

$$\alpha = N(d-1).$$

Для того же, чтобы знать величину d по величине D, полученной при размахе $=r$, необходимо знать α, так как $D = d + \alpha r$, т. е. $d = D - \alpha r$, а потому сперва, т. е. ранее, чем обсуждать зависимость d от разных обстоятельств взвешивания, необходимо собрать сведения об его изменении; для этого мы и обратимся к разбору основных наблюдений, описанных в § 12.

§ 17. По способу, описанному в предшествующем параграфе для n° 940, получены значения N, K и d для всех 20 рядов наблюдений, данных в § 12. Нельзя, однако, не заметить, что в наблюдениях n°n° 930 и 938 размахи столь малы и пертурбаций столь много (табл. 7), что следовало бы оставить эти данные, однако я не сделал этого, чтобы избежать всякой предубежденности при разборе изучаемых явлений. Из вычисленных N найдены затем α, и таким образом в таблице 8 содержится материал для суждения о зависимости d и α от условий взвешиваний (табл. 1, § 12).

Общая средняя разность между сглаженными наблюдениями и расчетом не превосходит:

$$\pm 0.064 \text{ div.}$$

Средняя возможная в наблюдениях погрешность (остающаяся даже после сглаживания, особенно вследствие пертурбаций)[1] никак не менее этой разности, что говорит в пользу общей приложимости формулы (X).[2]

Чтобы составить отчетливое представление о степени точности в K, N, d, α и r_0 при расчете их из опытных (хотя и сглаженных) данных, зададимся средним $d = 1.03$ и $\alpha = 0.0006$ и примем или (I) $r_0 = 80$, или (II) $r_0 = 12.5$, чтобы охватить случаи, встречающиеся в наших наблюдениях и в остальных наших взвешиваниях. Для обоих случаев разочтем по (X) значения r для $n = 10$, 25 и 40, а потом придадим этим r изменения, возможные в наблюдениях, и сравним находимые тогда K, N, d, α и r_0 с исходными. По заданию получаем:

$n_1 = 10$	$n_2 = 25$	$n_3 = 40$	Принято
I ($r_0 = 80$) $r_n = 42.24$	20.81	11.63	$K = 0.03250$, $d = 1.03000$, $\alpha = 0.00060$
II ($r_0 = 12.5$) $r_n = 8.74$	5.28	3.27	$K = 0.10000$, $N = 0.02000$

Теперь увеличим r, отвечающее n_1 и n_3 на ± 0.05 div., т. е. на величину, заведомо составляющую возможную погрешность отсчета, и по таким измененным r (оставляя r_2 —

---

[1] См. § 11 и табл. 7 на стр. 532—533.

[2] Или к ней очень близкой. Такое выражение можно найти, например, интегрируя выражение $d(\log D) = -\frac{d(\log r)}{d(n)}$ и принимая $D = d + \alpha r$. Мне не удалось суммировать ряд, при этом получающийся, и я остановился на алгебраическом выводе (X).

прежнее) сделаем расчет как бы по данным опыта. Получается:[1]

$$\text{I}\quad N=0.021644,\ K=0.033977,\ d=1.02916,\ \alpha=0.00063,\ r_0=81.08.$$

$$\text{II}\quad N=0.044308,\ K=0.121803,\ d=1.02641,\ \alpha=0.00117,\ r_0=12.90.$$

Следовательно в N (а потому и в K) разности от начального значения (0.02) могут, особенно при малых r, достигать больших величин, вследствие ничтожных изменений в наблюдаемых r. А так как $\alpha=N(d-1)$, то и в α можно ждать

[1] Так, например, для II случая имеем три уравнения:
для $n=10$

$$\frac{1}{8.79}=0.113766=Kd^{10}-N,$$

для $n=25$

$$\frac{1}{5.28}=0.189394=Kd^{25}-N,$$

и для $n=40$

$$\frac{1}{3.32}=0.301205=Kd^{40}-N.$$

Откуда получается: $N=0.044308$; $K=0.121803$ и $d=1.02641$, вместо взятых за исход: $N=0.02$, $K=0.1$ и $d=1.03$. Для N разность $0.0443-0.02=0.0243$, которая по отношению к 0.02 равна 121.5%. Отсюда очевидно, что по тем рядам, где r малы (например n° 938), не следует составлять суждений о истинной величине N, а следовательно, и об α, так как $\alpha=N(d-1)$. Тем не менее, при разборе табл. 8, бросается в глаза, что при малых r (n° n° 930, 938, 927) получаются бо́льшие значения α, чем для рядов соседних, где условия взвешивания те же, но r более значительны (n° n° 931, 940, 926). Быть может, что это вызовет со временем, при более точно обставленных наблюдениях, необходимость найти более полное выражение для зависимости r от n, чем (X), но ныне нельзя этого сделать по той уже причине, что с возрастанием r часто α не уменьшается, а увеличивается, например, n° n° 928 и 926, 929 и 931 и др. Вообще же я лично смотрю на выражение (X), не более как на первое приближение к истине или как на формулирование того основного положения нашего исследования, по которому *декремент колебаний весов уменьшается с уменьшением размахов*, что заставляет подвергнуть пересмотру все учение о декременте всяких колебаний. Предмет нов, сложен и труден, а потому я не мог, приступая к нему, ждать даже той степени приближения, какой достиг, а так как здесь дело касается колебаний, происходящих под влиянием тяжести, то, как маятник дал важнейшие первые о ней точные сведения, можно полагать, что и первый приступ к подробному изучению колебания весов, при всех несовершенствах моего исследования, даст, быть может, хоть некоторый повод

Табл

Расчет наблюдений над отклонениями (амплитудами)

$\frac{1}{r_n} = Kd^n - N$, где

n°	K	N	d
			1) Весы Эртлинга (малые), навеска
957	0.06260	0.01400	1.04560
958	0.05106	0.01054	1.04512
			2) Весы Рупрехта, навеска 427.3 г;
934	0.04322	0.01057	1.01581
935	0.03700	0.00932	1.01531
			3) Весы Неметца, навеска 0 г;
932	0.17021	0.10079	1.01336
933	0.12310	0.06450	1.01545
			4) Весы Неметца, навеска 607.4 г;
918	0.04114	0.02124	1.02714
917	0.03591	0.01683	1.02886
			5) Весы Неметца, навеска 607.4 г;
930	0.17906	0.09705	1.01994
929	0.02716	0.00825	1.02969
931	0.02899	0.01191	1.02852
			6) Весы Неметца, навеска 607.4 г; 1 div. =
938	0.16243	0.08310	1.03040
936	0.04110	0.02444	1.03401
940	0.02314	0.01063	1.03848
			7) Весы Неметца, навеска 607.4 г; 1 div. =
923	0.07952	0.01470	1.02730
922	0.06217	0.03685	1.01964
921	0.02665	0.01102	1.02741
			8) Весы Неметца, навеска 607.4 г; 1 div . =
927	0.10823	0.05574	1.01985
928	0.03030	0.01101	1.02782
926	0.03729	0.01857	1.02138

ица 8

r_n весов во время их колебания, по формуле

$K = N + \frac{1}{r_0}$ и $N = \frac{\alpha}{d-1}$

α	При $n=0$ r_0	При $n=30$ r_{30}	Разность, наблюдение — расчет Δ
0.5 г; 1 div. = 0.0084 мг; $e = 1.184$ г			
0.00064	20.58		±0.03 div.
0.00048	24.68		±0.05
1 div. = 0.024 мг; $e = 1.201$ г			
0.00017	30.62	17.06	±0.06
0.00014	36.13	20.39	±0.08
1 div. = 0.03? мг; $e = 1.205$ г			
0.00135		6.55	±0.04
0.00100		7.66	±0.04
1 div. = 0.053 мг; $e = 1.196$ г			
0.00057	50.25	14.16	±0.08
0.00049	52.39	14.82	±0.05
1 div. = 0.053 мг; $e = 1.210$ г			
0.00193	12.19	4.60	±0.02
0.00024	52.88	17.52	±0.12
0.00034		18.02	±0.08
0.034 мг; $e = 1.202$ и (№ 940) 1.207 г			
0.00253	12.61	3.17	±0.05
0.00083	60.02	11.41	±0.08
0.00041	80.00	16.34	±0.08
0.055 мг; $e = 0.236$ и (№ 921) 0.230 г			
0.00040	15.43	6.11	±0.12
0.00072		13.41	±0.06
0.00030	63.96	20.42	±0.08
0.055 мг; $e = 0.108$ и (№ 926) 0.106 г			
0.00111	19.05	7.17	±0.04
0.00031	51.84	17.24	±0.05
0.00040	53.42	19.31	±0.07

таких же крупных изменений. Что же касается до величины d, то она определяется все же точнее и даже для $(d-1)$ разность в указанных условиях не превышает 12%. Отсюда, несомненно, следует, что хотя в d (т. е. в предельном декременте, отвечающем $r=0$), как в D вообще, должно признавать немалую возможную погрешность (от ± 0.0002 до ± 0.0035 при расчете по сглаженным данным), но все же это есть величина, определяемая (относительно) гораздо точнее, чем все иные, входящие в (X), особенно N, K и r_0. В величине же α, выражающей приращение декремента при возрастании отклонения r $\left(\text{т. е. } \alpha=\frac{dD}{dr}\right)$, погрешность наблюдения может, особенно при малых r (следовательно, например, в п° п° 938, 930, 927 и т. п.), удваивать или уменьшать вдвое значение этой величины. А так как за исключением тех наблюдений, где r малы (например, r_{30} менее 10), все значения α более 0.0003 и менее 0.0009, то можно даже для большинства обычных случаев принять $\alpha=0.0006$, если дело идет о расчете небольшого ряда размахов. Эти замечания очень важны для правильного понимания многих явлений, касающихся зависимости декремента от условий взвешивания.

Теперь я считаю возможным до некоторой степени закончить здесь с вопросом о влиянии величины размахов R или отклонений r на величину декремента D.

По укоренившемуся мнению о постоянстве декремента всяких колебаний можно было полагать, что и при колебаниях весов D остается постоянным,[1] но опыт при возможно

к усовершенствованию еще во многом темного учения о силе тяжести. Эта мысль, вместе с желанием собрать данные для усовершенствования точных взвешиваний, все время укрепляли мою настойчивость в изучении колебания весов, и ей я обязан всем тем, чего успел достичь в этом отношении. Достигнутое не многозначительно по существу, но твердое опытное начало дано как исходная точка, и с ним можно идти дальше, что заставляет меня выполнить уже намеченную впредь систему опытов, насколько я смогу и успею. Притом в колебании весов участвует трение твердых тел (ножей и подставок), а оно, как известно, тоже нуждается в изучении и разъяснении. Все это и еще многое иное заставляет продолжить опыты и наблюдения с колебаниями весов, так что я смотрю на предлагаемый труд, как на первый приступ к новой области исследований.

[1] Писавши в 1895 г. свою статью «О приемах точных взвешиваний» (Временник, ч. 3, стр. 14), я еще исходил из понятия о постоянстве декремента, но уже тогда (ibid., стр. 15) я заметил возрастание его с величиною размахов, что в сущности и послужило ближайшим поводом к предпринятому исследованию колебания весов.

точной обстановке скоро убеждает в непрерывном уменьшении декремента с уменьшением R или r, а потому на три вопроса, поставленных в начале § 9, теперь можно ответить, хотя и не окончательно, следующим образом:

1) При прочих (как то: нагрузка, чувствительность и проч.) равных условиях, декремент как начальный, так и относящийся к дальнейшим размахам, уменьшается всегда по мере уменьшения величины размаха, и в этом отношении начальные размахи, повидимому, ничем существенным не отличаются от последующих.[1] Это значит, в сущности, что D должно получаться — при тех же условиях взвешивания — одно и то же (конечно, в пределе возможной погрешности) при данном r, будет ли оно начальным или десятым, сотым и т. д. в ряде наблюденных колебаний, как можно судить по примеру (n° n° 929—931), рассмотренному в § 15. Сличим здесь, ради примера, наблюдения n° n° 957 и 958 (весы Эртлинга), где условия взвешивания все тождественны (табл. 1 в § 12). По числам табл. 8 получаем:

При $r_n =$	25	20	15	10	5	0 div.
(n° **957**) $D =$	1.062	1.058	1.055	1.052	1.049	1.046
(n° **958**) $D =$	1.057	1.055	1.052	1.050	1.048	1.045

Разность, конечно, очевидна, но недостаточна для того, чтобы не быть объясняемой неизбежными погрешностями, так как для обоих рядов в среднем можно принять

$$D_n = 1.04536 + 0.00056\, r_n;\ \text{а}\ N = 0.01235,$$

что достаточно (± 0.05) согласуется с наблюдениями. То же должно сказать о других парах наблюдений (например, n° n° 917 и 918, 929 и 931, 926 и 928 и т. п.). Так, например:

При $r_n =$	50	40	30	20	10	0 div.
(n° **926**) $D =$	1.041	1.037	1.033	1.029	1.025	1.021
(n° **928**) $D =$	1.043	1.040	1.037	1.034	1.031	1.028

В наблюдениях с весами Рупрехта:

$r_n =$	35	30	20	10	5	0 div.
(n° **934**) $D =$	1.022	1.021	1.019	1.018	1.017	1.016
(n° **935**) $D =$	1.020	1.020	1.018	1.017	1.016	1.015

[1] Но при начале колебаний коромысла, после отпускания арретира, нередко происходят колебания чашек на своих призмах, что и влечет за собою иногда особый род неправильностей, примечаемый иногда при взвешиваниях. Когда они производятся с большею осторожностью и когда центрирование груза соблюдено, — этого нет. Но все же (во избежание влияния продолжающегося гнутия коромысла) лучше пропустить 2—3 размаха до записи.

Здесь убыль D совершается медленнее (α мало), но согласие рядов — не подлежит сомнению, принимая во внимание погрешности, возможные в D. Идти до большей меры согласия могут позволить только наблюдения, произведенные с точностью большею, чем у нас была до сих пор.

2) На вопрос о продолжении падения декремента во все дальнейшее время после начальных колебаний до самого прекращения размахов — должно отвечать, на основании всей совокупности данных, что декремент все продолжает падать, но когда размахи становятся малыми, по свойству выражения (VIII), это падение становится меньшим — на то же число размахов, — чем при начальных размахах, т. е. тогда размахи убывают гораздо медленнее.

3) Наконец, по отношению к вопросу о декременте при конце размахов, когда r приближается к нулю, можно отвечать только гипотетически, так как тогда не только декременты, но и самые элонгации не могут подлежать прямому определению, гипотеза же (VIII), положенная нами в основание первого приближения, прямо обусловливает то, что при $r=0$ декремент d есть величина определенная, большая единицы и характеризующая условия взвешивания и весы. Гипотеза эта укрепляется мыслью о том, что a priori, без внешних пертурбационных влияний,[1] колебания должны же кончиться, а этого не было бы, если бы декремент достигал до единицы, а не до величины, большей единицы. Но я воздержусь от дальнейших замечаний по вопросу о декременте около $r=0$, потому особенно, что желаю сохранить за своим исследованием опытный характер, и думаю, что истинное движение вперед при исследовании всех видов колебаний может совершаться только под влиянием теоретических соображений, опирающихся на опыты и наблюдения, собранные с тщанием, по плану и в большом разнообразии, но без предвзятых суждений.

Таким образом, в существеннейших вопросах, относящихся до декремента весовых колебаний, выступает новая точка зрения, по которой на место конкретного декремента D, относящегося до колебаний, наблюдаемых при всяком размере размахов, должно поставить или условный предельный (находимый из расчета) — декремент d при

[1] В действительности такие (§ 11) влияния всегда существуют, и как показывает опыт, колебания весов, даже при большой нагрузке, не прекращаются в 2—3 суток, становясь (от пертурбаций) то меньше, то больше. Предмет этот достоин специального (быть может — сизмографического) расследования.

$r=0$, или декремент при определенной мере размахов R или отклонений r.[1] Так, например, зная декременты D_n при данных условиях взвешивания и при данных r_n, можно их сравнение сделать независимым от величины размаха, если узнать, каков был бы декремент D_1 при отклонении r_1, равном определенной дуге (например 10 минутам дуги) или определенному числу делений шкалы, например при $r=$ $=15$ div., так как этот размер отклонений отвечает среднему, получаемому при наших обычных взвешиваниях. В дальнейшем изложении я делаю декременты сравнимыми, приводя их каждый раз — когда есть на то возможность — к отклонению $r=15$ div. или к размаху $=30$ div.,[2] и такие декременты означаю: $D_{r=15}$ или, короче, D_{15}. Далее, при переходе (с § 19) к рассмотрению изменения декремента при разных обстоятельствах, постоянно будут применяться именно такие $D_{r=15}$, чтобы освободиться от влияния величины размаха. Лишь изредка для той же цели мы будем обращаться к сравнению предельных декрементов d. Для удобства сличений сперва приводим во всех наблюдениях §§ 10[3] и 12 (по табл. 8), для которых r_0 более 15 div., а последнее r_m менее 15 div., значения d, α, D_{15} и t_{15} (по данным §§ 7 и 13),[4] означая чрез p переносную нагрузку на каждой чашке весов в граммах. [См. верхнюю таблицу на стр. 556—557].

В дальнейших расчетах, касающихся влияния условий взвешиваний на декремент D_{15}, мы станем пользоваться средними выводами, извлеченными из этого свода и составляющими содержание табл. 9, которая в некотором смысле резюмирует данные §§ 10 и 12.

Если бы при взвешиваниях всегда можно было иметь размахи R в 30 div. или отклонения в 15 div., прямое

---

[1] Последнее более реально и явственно, так как свободно от гипотезы, относящейся к убыли колебаний близ $r=0$.

[2] Так как размах R почти равен $2r$, т. е. удвоенному отклонению.

[3] Для некоторых наблюдений § 10 (n° n° 881—886) произведен полный расчет по (X), например для n° 886 получено $10^6 \cdot r^{-1} = 55814\,(1.01501)^n -$ -16610 (разность: сглаженное — расчетное $= \pm 0.06$), откуда $\alpha = 0.00025$. Для n° 885 так явно выступили пертурбации (около $r=13$), что я считаю невозможным воспользоваться этими данными. Для некоторых же данных § 10 я довольствовался графическим интерполированием, например для n° 883.

[4] Так как в § 13 разочтены t_0 и β, то легко было прямо найти $t_{r=15}$, определяя сперва, при каком n значение $r=15$ div. А в тех рядах, где неизвестны t_0 и β, я находил t_{15} по конечным разностям данных § 10 или по формуле (IV), рассчитывая ее постоянные Q, M и β по данным, содержащимся в § 7.

n°	d	α	$D_{r=15}$	$t_{r=15}$
		a) Весы Эртлинга, $p = 0.5$ г		
957	1.0456	0.00064	1.0552	17.13
958	1.0451	0.00048	1.0523	17.45
		b) Весы Рупрехта, $p = 427.3$ г		
881	1.0113	0.00034	1.0164	—
883	1.0150	0.00014	1.0171	44.4
884	1.0150	0.00012	1.0168	44.4
886	1.0150	0.00025	1.0187	44.6
934	1.0158	0.00017	1.0184	44.62
935	1.0153	0.00014	1.0174	44.69
		c) Весы Неметца, $p = 0$		
932	1.0134	0.00135	1.0336	—
933	1.0154	0.00100	1.0304	28.01

Таб

Средние декременты D_{15} и средние времена размаха t_{15}

Из каких в°n° взято приведенное среднее	Весы и их наибольшая нагрузка	Съемная нагрузка каждой чашки в граммах p_1	Чувствительность в миллиграммах на 1 div.
881, 883, 886	Рупрехта на 1 кг	427.3	0.0238
884, 934, 935		427.3	0.0238
932, 933		0	0.03?
917, 918, 929, 931		607.4	0.053
936, 940	Неметца на 1 кг	607.4	0.034
921, 922, 923		607.4	0.055
926, 927, 928		607.4	0.055
957, 958	Эртлинга на 2 г	0.5	0.0084

n°	d	α	$D_{r=15}$	$t_{r=15}$
		d) Весы Неметца, $p = 607.4$ г		
917	1.0289	0.00049	1.0363	30.9
918	1.0271	0.00057	1.0357	31.0
921	1.0274	0.00030	1.0319	30.8
922	1.0196	0.00072	1.0304	—
923	1.0273	0.00040	1.0333	—
926	1.0214	0.00040	1.0274	30.77
927	1.0198	0.00111	1.0365	30.06
928	1.0278	0.00031	1.0324	30.40
929	1.0297	0.00024	1.0333	30.40
931	1.0285	0.00034	1.0336	30.28
936	1.0340	0.00083	1.0465	37.38
940	1.0385	0.00041	1.0447	37.20

ица 9

при $r = 15$ div. при определенных условиях взвешивания

Вес [милли]литра воздуха e в миллиграммах	Время 1 размаха при $r = 15$ div., в секундах t_{15}	При $r = 15$ div.	
		декремент D_{15}	изменение D_{15} на 1 div. $\alpha = \frac{dD_{15}}{dr}$
1.197	44.5	1.0174	0.0002
1.178	44.5	1.0175	
1.205	28.0	1.0320	0.0012
1.203	30.6	1.0347	
1.205	37.3	1.0456	
0.234	—	1.0319	0.0005
0.107	30.4	1.0321	
1.184	17.3	1.0538	

сличение замечаемых декрементов было бы достаточно освобождено от влияния величины размахов, и влияние всяких обстоятельств на декремент выразилось бы непосредственно. Но так как этого достичь практически трудно,[1] то для перехода от наблюденного D к D_{15} можно воспользоваться значением величины α, которая и дана в табл. 9. Очевидно, что $D_{15} = D_r + \alpha(15 - r)$.

Однако, прежде чем обратиться к исследованию изменений D_{15} при разных условиях взвешиваний, считаю необходимым остановиться на приложении вышенайденного к самим взвешиваниям, так как побудительною причиною всего исследования о декременте служило для меня стремление укрепить и по возможности усовершенствовать приемы точных взвешиваний. Изучив зависимость декремента и времени размахов от их величины, я считаю свою ближайшую цель достигнутою, потому что это прямо приложимо к взвешиваниям. Все прочее (§ 19 и сл.) составляет лишь дополнение к этой первичной цели. Притом эти наблюдения еще не закончены, а потому излагаются по возможности кратко, тем более, что я предполагаю писать о том же предмете впоследствии подробнее.

§ 18. **Расчет равновесия.** В предшествующем показано, что колебания весов управляются выражением (X), которому мы придали вид:

$$r = \frac{1}{Kd^n - N}.$$

[Если] исходить ($n = 1$) из большего показания шкалы (как всегда в наших взвешиваниях), элонгации l_n, при равновесии L, очевидно, вообще выразятся чрез:

$$l_n = L + (-1)^{n-1} \frac{1}{Kd^n - N}, \qquad \text{(XI)}$$

т. е. 4 последовательные элонгации, наблюдаемые при взвешиваниях, будут:

$$\left.\begin{aligned} l_1 &= L + \frac{1}{Kd - N}, \qquad l_2 = L - \frac{1}{Kd^2 - N}, \\ l_3 &= L + \frac{1}{Kd^3 - N} \quad \text{и} \quad l_4 = L - \frac{1}{Kd^4 - N}. \end{aligned}\right\} \qquad \text{(B)}$$

---

[1] Повторю, однако, что в среднем при многих обычных наших взвешиваниях r близко к 15 или R к 30, почему я и выбрал эту норму сравнений.

Наблюденных величин (l) здесь четыре,[1] а неизвестных также только четыре: L, K, d и N, а потому совершенно строго можно признать, что *наблюдения 4 элонгаций достаточно для определения равновесия* L или того отсчета шкалы, который соответствует при условиях взвешивания прекращению колебаний или такому состоянию, при котором $R = r = 0$. Наблюдения же 3 элонгаций для этого, без всяких предварительных сведений (о декременте), недостаточно.

---

[1] Если наблюдено более 4 элонгаций, то, применяя равенство (XI), можно уже найти, оставалось ли L постоянным и насколько изменялось во время наблюдений. Если размахи не очень велики и число их не более пятнадцати и если в равновесиях не было быстрых и сильных изменений (что можно видеть по элонгациям, так как тогда явятся в них заметные пертурбации, § 11), тогда изменения L_n и r_n можно выразить параболами 2-го порядка

$$l_n = L + \alpha n + \beta n^2 + r_n (-1)^{n-1},$$

рассчитывая сперва L, а потом r_n. Для расчета r_n можно здесь взять или (X), или (вследствие того, что n мало) параболу. Так как подобные расчеты могут найти приложения, то привожу пример из наблюдений д-ра Тизена (Travaux et Mémoires du Bureau Intern., v. V, Partie 2, 1883, стр. X, Observations, последняя строка) и беру такое наблюдение (весы Sacré № 1, нагрузка 1000 г, 1 div. = 0.52 мг), которое не поддавалось (l. c., стр. 27) способу расчета Тизена. Наблюдены:

$n =$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$l_n =$	69.02	54.56	68.65	54.97	68.12	55.27	67.90	55.60	67.55	55.94

(последнее число напечатано 56.94, но это есть очевидная ошибка, должно быть 55.94). Каждые 4 элонгации дают L, которое должно отнести к средине данных, например, из четырех первых, для $n = 2.5$, получается $L = 61.702$, из последних четырех l получается $L = 61.661$. Перемену равновесия легко выразить по способу наименьших квадратов параболою:

$$L_n = 61.8197 - 0.0568\, n + 0.0046\, n^2.$$

Поэтому вычисляются следующие значения (для вышеописанных n) отклонений:

$$r_n = 7.25 \quad 7.16 \quad 6.96 \quad 6.70 \quad 6.47 \quad 6.37 \quad 6.25 \quad 6.06 \quad 5.87 \quad 5.77.$$

Вследствие того, что здесь n не более 10, эти данные можно выразить, не прибегая к (X), более простою интерполяционною формулою (совершенно неприложимою при сколько-либо значительном n), подобною той, какую применил Тизен:

$$\log r_n = 1.876761 - 0.0136667\, n + 0.000217\, n^2.$$

В наших взвешиваниях всегда наблюдаются 4 элонгации, т. е. удовлетворяется основное условие для определения равновесия L, но мы рассчитываем его по формуле:

$$L_A = \frac{1}{8}[l_1 + 3l_2 + 3l_3 + l_4], \qquad (A)$$

которую давно применяют при взвешиваниях в Англии, а в последнее время стали применять и повсюду и которую можно считать очень близкою к истине, если принимать декремент постоянным.[1] В действительности же, по совокупности вышеприведенных четырех равенств, зависимость L от 4 наблюденных элонгаций выражается столь сложным равенством, что его вычисление по данным l представляет при множестве взвешиваний чрезвычайное неудобство, и совершенно очевидно, что точное L_B не тождественно с L_A, расчисленным по (A). Следовательно, применяемый (A) прием дает неточное L. Необходимо составить ясное представление о мере ошибочности или разности двух определений L. Для ясности назовем чрез Δ_L разность между истинным L_B и обычным L_A способом нахождения равновесия, т. е. Δ_L показывает, что должно прибавить к определению L_A, произведенному по обычному ныне способу расчета (A), чтобы получить истинное равновесие L:

$$\Delta_L = L_B - L_A .$$

Таким образом, в целом

$$l_n = 61.82 - 0.0568\, n + 0.0046\, n^2 + \frac{(-1)^{n-1}\, 7.529\, (1.0005)^{2n}}{(1.03197)^n},$$

что дает:

$n =$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$r' =$	69.07	54.64	68.57	54.98	68.16	55.30	67.84	55.62	67.58	55.93
$r_n - r' =$	−0.05	+0.01	−0.08	−0.01	−0.04	−0.03	+0.06	−0.02	−0.03	+0.01

Средняя квадратическая разность между наблюдением и расчетом = $= \pm 0.04$ div. (а по расчету Тизена квадратическая разность вышла здесь ± 0.33 div., т. е. в 8 раз более, что зависит от многих причин и от различия в отношении к предмету). Следовательно, даже это наблюдение Тизена совершенно подходит к нашим способам выражения действительности.

[1] Как это доказано в моей статье во «Временнике Главной палаты» (ч. 3, 1896, стр. 24).

Чтобы получить конкретное понятие о величине этой разности, очевидно тем большей, при прочих равных условиях, чем более d, зададимся условным $L_B = 150$ div. и разочтем элонгации при возможных изменениях r_0, d и α, а именно при четырех, указанных в прилагаемой таблице, назвав каждое задание I, II, III и IV и определяя по всем им L_A по формуле (A).

I. Примем $d = 1.05$, потому что более этого не получилось ни в одном из наших определений для *предельного* ($r = 0$) декремента. Величине α придадим также очень большое значение 0.0009, а r_0 примем $= 50$ div., причем первый размах R_1 получает значение ($R_1 = 87.5$ div.) большее, чем в обычных наших взвешиваниях, где R_1 редко превосходит 60 div., а обыкновенно, в среднем, около 30 div. Очевидно, что при этом задании: $N = \frac{\alpha}{d-1} = 0.018$ и $K = N + \frac{1}{r_0} = 0.04$, откуда и объясняются уже все значения, приведенные в таблице.

II. Приняв, как ранее $L = 150$ div., $d = 1.05$ и $\alpha = 0.0009$, разочтем 4 элонгации при $r_0 = 20$ div., чтобы видеть, как изменяется Δ_L с уменьшением начального размаха.

III. Приняв опять $L = 150$ div., изойдем далее из близких к обычнейшим в наших взвешиваниях (на весах Рупрехта, когда 1 div. $= 0.024$ мг) значений $d = 1.02$ и $\alpha = 0.0002$ ($D_{15} = 1.023$), приняв $r_0 = 50$ div., что соответствует единице и дает возможность видеть, как изменяется Δ_L в зависимости от уменьшения d, когда размахи очень велики.

IV. Наконец, примем $L = 150$, $d = 1.02$, $\alpha = 0.0002$ и $r_0 = 20$ div., что наиболее отвечает обычному среднему в наших взвешиваниях на весах Рупрехта.

Во всех четырех случаях, найдя разность $\Delta_L = 150 - L_A$, выразим ее в милиграммах, считая 1 div. $= 0.06$ мг, что отвечает самой малой чувствительности, при какой идут наши взвешивания на весах Неметца, на весах же Рупрехта она обыкновенно у нас в 2—3 раза более (1 div. = от 0.02 до 0.03 мг).

Принято:

	I	II	III	IV
$L_B =$	150	150	150	150
$r_0 =$	50	20	50	20
$d =$	1.05	1.05	1.02	1.02
$N =$	0.018	0.018	0.010	0.010
$K =$	0.038	0.068	0.030	0.060

Находится:

	I	II	III	IV	
	$l_1 = 195.662$	168.727	198.544	169.531	div.
	$l_2 = 108.150$	132.447	102.857	130.925	»
	$l_3 = 188.478$	166.470	195.796	168.632	»
	$l_4 = 114.525$	134.533	105.502	131.800	»
Равновесие по (А)	$L_A = 150.0089$	150.0014	150.0006	150.0002	»
Разность	$\Delta_L = -0.0089$	—0.0014	—0.0006	—0.0002	»
Вес = 0.06	$\Delta_L = -0.00053$	—0.00008	—0.00004	—0.00001	мг
Первый размах	$R_1 = 87.512$	36.280	95.687	37.606	div.

Отсюда (и из подобных расчетов) несомненно:

1) что равновесие L_A, вычисляемое по принятому нами способу (А), всегда отличается от истинного L_B, находимого на основании формулы (X);

2) что первая элонгация l_1 определяет знак разности $\Delta_L = L_B - L_A$, а именно, если l_1 более L, то Δ_L отрицательна, если же l_1 менее L, — положительна;[1]

3) что разность Δ_L тем больше, чем больше начальный размах,[2] при прочих равных условиях;

4) но что величина этой разности Δ_L гораздо менее не только погрешностей современных отсчетов элонгаций, но и тех, до каких можно достичь, сильно улучшая отсчеты и сделав их объективными, так как в наиболее неблагоприятных условиях (например I, на деле, например у нас, не существующих, так как R_1 всегда при взвешиваниях менее 80 div.) Δ_L все же составляет менее 0.01 div.;

5) что в обычных условиях точных взвешиваний (например IV) расчет по (А) не вводит во взвешивания погрешностей, превосходящих десятитысячные доли делений шкалы (div.) и стотысячные доли миллиграмма, а до таких дробей наблюдением ныне еще нельзя достигать,

и 6) что в системах взвешиваний (гл. 2-я), где существует перекладка нагрузок с одной чашки весов на другую и т. п., даже эта ничтожная неточность Δ_L уничтожается или почти уничтожается, если принять за правило, как это мы и делаем, чтобы запись элонгаций начинать *всегда* с большей элонгации и размеры первого размаха R_1

[1] Так, если в примере I начать с $l_0 = 100$, а не с l_1, то $\Delta_L = +0.0107$ div. Из этого ясно видно, что, определяя L по 5 элонгациям, можно еще точнее достигать истины.

[2] Возрастание *близко к пропорциональности* квадрату первого размаха, на чем можно основать удобный способ введения поправки — если бы это оказалось со временем необходимым — ныне же в этом нет прямой надобности, а потому не останавливаюсь на этом выводе.

по возможности не выводить из определенных пределов, определяемых условиями взвешиваний.

Эти последние замечания всегда принимались во внимание при взвешиваниях в Главной палате, а отныне должны быть считаемы необходимыми для возвышения точности.

Таким образом, хотя применяемый при точных взвешиваниях *способ расчета* (А) *равновесий из 4 элонгаций* и не отвечает найденному нами (X и XI) выражению колебания весов, но, однако, *отличается не только чрезвычайною простотою, но и точностью*, совершенно удовлетворяющею современной и предвидимой на продолжительный срок высшей степени точности взвешиваний.[1] Этот вывод я считаю особенно важным для дела возобновления русских прототипов веса, потому что все наши многочисленные взвешивания, при этом произведенные, рассчитаны указанным способом (А) и какая-либо их поправка в отношении L потребовала бы большого труда.

В заключение этого параграфа считаю необходимым остановиться на возможности правильного расчета равновесий L не по четырем, а только по трем или даже по двум наблюденным элонгациям,[2] если декремент колебаний и его изменение по r (т. е. α) известны.

Изменения в величине α (в X) столь незначительны при различных обстоятельствах взвешиваний, что на основании вышеприведенных наблюдений — особенно при небольшом числе размахов — α можно считать постоянною в случае определенной нагрузки и если весы, применяемые для взвешиваний, заранее изучены в этом отношении. Если же считать при взвешивании α известною величиною, то в уравнении колебаний (XI) останется три неизвестных: L, r_0 и d, так как $N = \frac{\alpha}{d-1}$ и $K = N + \frac{1}{r_0}$. Поэтому, наблюдая только 3 элонгации: l_1, l_2 и l_3, можно найти L. Не вдаваясь в развитие формул, вытекающих из (X) и из того, что способ

---

[1] Можно надеяться, что десяти- и стотысячные доли *миллиграмма* можно будет определять при весе предметов (гирь) в один или менее грамм, но для предметов еще большего веса на это трудно надеяться, уже по той причине, что само перемещение предметов большего веса сопряжено с их стиранием, уменьшающим вес — беспрерывно, хотя и слабо (судя по опыту Главной палаты), если даже принять все возможные предосторожности и даже если взвешиваемая гиря достаточно тверда, например из иридистой платины.

[2] Это предложено было мною в моей статье 1896 г. во «Временнике» (ч. 3, стр. 27 и сл.).

(A) дает вполне надежное L, прямо привожу результат расчетов этого рода:[1]

$$L = \frac{1}{4}\left[l_1 + 2l_2 + l_3 - \frac{(l_1 - l_3)^2}{l_1 - 2l_2 + l_3}\right]. \qquad \text{(XII)}$$

Так, например, взяв из предшествующего расчета пример I (стр. 561), из трех первых элонгаций получаем (по XII): $L = 150.0331$, т. е. в наиболее неблагоприятных условиях (какие даны в I и не встречаются в точных взвешиваниях) предлагаемая формула дает погрешность в L меньшую (0.03 div.), чем погрешность, возможная в элонгациях. Если же возьмем пример IV, относящийся к обычным у нас условиям, то из 3 первых элонгаций получаем $L = 150.0005$, что не составляет уже разности, ощутимой в наилучших взвешиваниях, так как при них обыкновенно у нас 1 div.$=$ $= 0.02 - 0.04$ мг, а тогда погрешность веса (0.000015 мг) ничтожно мала.

Таким образом, расчет L по 3 элонгациям можно считать достаточным для точных взвешиваний, считая или изменение декремента α постоянным (известным), или полагая декремент неизменным, что почти справедливо, когда начальные размахи во всех взвешиваниях будут почти одни и те же и небольшие (R_1 от 10 до 40).

Однако и по 2 элонгациям можно судить о равновесии L, если заранее известен декремент, отвечающий весам, начальному размаху, чувствительности, нагрузке и плотности воздуха. В самом деле, если принять, что d и α, т. е. две величины, вполне определяющие декремент, — известны, останется две переменных L и r_0, для определения которых достаточно 2 элонгаций. Считать же декремент, для данных весов, известным можно, конечно, только сделав предварительные с ними наблюдения, при определенных условиях взвешивания. Судить же о том, как изменяется декремент при перемене этих условий, до некоторой степени можно по тому, что излагается в дальнейших параграфах. Допустим поэтому, что так или иначе (по особым опытам или руководясь началами, далее излагаемыми) декремент D_{15}, относящийся к данному взвешиванию, и его изменение α известны, тогда d и N в (X) и (XI) будут известны.

---

[1] При этом я, ради упрощения расчетов, считал возможным пожертвовать некоторою степенью (сотыми долями div.) точности в L, что привело к такой же формуле, как при D постоянном, что и допустимо.

так как $d=D_{15}-\alpha 15$ и $N=\frac{1}{d-1}$, следовательно по l_1 и l_2 получится L, так как

$$l_1=L+\frac{1}{Kd-N} \quad \text{и} \quad l_2=L-\frac{1}{Kd^2-N}.$$

и здесь неизвестны только K и L, которые определяются прямо по известным d и α, l_1 и l_2. Еще проще, приняв средний (для данного размаха) декремент постоянным, расчет произвести по выражению:[1]

$$L=\frac{Dl_2+l_1}{D+1}, \qquad \text{(XIII)}$$

которое по своей простоте легко подлежит расчету. Так, в примере I из $l_1=195.662$ и $l_2=108.150$, зная, что $d=1.05$ и $\alpha=0.0009$, можно принять $D=1.05+0.0009\cdot 44$ (где 44 есть половина первого размаха l_1-l_2)$=1.0896$, а потому (по XIII) $L=150.930$, что отличается от истинного $L=150$ не более, как на величину возможных погрешностей отсчета — даже в этом случае — в практике не встречающемся. Возьмем другой пример из взвешиваний (ч. IV, стр. 9), первые строки:

$$l_1=169.35, \quad l_2=152.55, \quad l_3=168.8, \quad l_4=152.9.$$

По условиям взвешивания (весы, нагрузки и проч.), как увидим далее, можно утверждать, что здесь D близок к 1.023. По l_1 и l_2 с этим декрементом, по (XIII), получается $L=160.855$. По l_2 и l_3 — $L=160.583$[2] и по l_3 и l_4 — $L=160.760$. В среднем $L=160.733$, что близко к выводу по (А) из всех 4 элонгаций, когда получается $L=160.788$, разность $=0.055$ и не более возможных погрешностей отсчета. В силу же существования их, определение L надежнее всего производить по 4 элонгациям, но там, где требуется быстрота взвешивания или необходимо знать перемены,

[1] Это потому, что, приняв D постоянным, имеем:

$$l_1=L\pm r_1 \quad \text{и} \quad l_2=L\mp\frac{r_1}{D},$$

откуда и получается вышеприведенное выражение равновесия L.

[2] Всегда, когда начинают с l большего, L получается немного выше истинного, а когда первый отсчет менее второго, — L менее истинного, если нет погрешностей отсчета. Так вышло и здесь. Это замечание может даже служить к определению меры погрешностей отсчетов и давать суждение о ходе изменений в L.

происходящие в положении равновесия,[1] определение L из 2 элонгаций по (XIII) может оказать существенные услуги, потому что довольно точно и легко рассчитывается.

§ 19. При изучении времен и амплитуд физических маятников, доныне расследовали опытным путем преимущественно влияние воздуха или той среды, в которой движется маятник (ее плотности, внутреннего трения или вязкости и количества ее, принимающего участие в движении, Du Buat, Бессель, Стокс и др.), и лишь едва (Бессель, Себейн и др.) касались вопроса о трении твердых частей маятника, например ножа о подставку или внутреннего трения (при сгибании), когда маятник качается на гибкой проволоке или нити. Притом, в этих исследованиях маятников, преимущественный интерес составляли до сих пор времена качаний, так как практическое приложение маятника — к часам и для определения изменений в напряжении тяжести — требует исключительно знания времен колебаний и длины или расстояния до центра качания. Амплитуды при этом наблюдались и изучались почти исключительно для приведения к бесконечно малым размахам, хотя Стокс (1850, а затем Оскар Э. Мейер, 1871) указывал на изучение убыли амплитуд, как на надежный путь для решения основных вопросов, относящихся до колебания физического маятника.

При изучении колебания весов, самое их применение для точных взвешиваний заставляет обратить преимущественное внимание на убыль амплитуд, т. е. на декремент, и на выяснение обстоятельств, влияющих на его изменение. Изучение же времен размаха весов становится очень удобным вследствие медленности качаний и связывает оба разряда исследований, но не может стоять здесь на первом плане. Мы видели в § 7 (а также в табл. 9) тесную связь между изменениями декремента и времен размахов, но все же как ранее, так и в остальном изложении, станем преимущественно говорить о декременте и, рассмотрев его изменение с величиною размахов, теперь перейдем к изменениям декремента (и времен размахов) от следующих обстоятельств в отдельности:

1) от влияния веса (как коромысла, так и чашек с нагрузкою), давящего на призмы (ножи) весов;

---

[1] В вышеприведенном примере, вероятно, во время 4 элонгаций произошло лишь небольшое изменение L, как видно из того, что среднее из 1-го и 2-го определений дает $L = 160.719$, а из 2-го и 3-го $L = 160.671$.

2) от влияния изменения чувствительности весов, зависящей, как известно, от расстояния между точкою опоры и центром тяжести;

3) от величины и формы площадей (миделей), перпендикулярных к направлению движения, происходящего при размахах;

4) от объема взвешиваемых предметов;

5) от плотности среды, в которой совершаются колебания;

6) от внутреннего трения этой среды, которое, по закону Максвеля и по опытам Кундта и Варбурга, зависит от частичных свойств газов, а не от их плотности (почти не зависит от давления),

и 7) от величины трения среднего и боковых ножей о подставки или подушки, на которые опираются подвижные части весов.

От совокупности индивидуальных особенностей, присущих весам, смотря по их устройству, временной деформации частей и т. п., — все эти влияния отчасти видоизменяются, но, конечно, по общим, основным законам, которые надо узнать.

Во всех этих отношениях[1] в Главной палате мер и весов собрано уже некоторое количество опытных данных, но я далек от мысли о том, что предмет этот, во многих отношениях новый, в каком-либо смысле исчерпан. Напротив того, я думаю, что нужны еще многие тщательные опыты и наблюдения, чтобы иметь право приступить к теоретическому рассмотрению предмета. Поэтому в дальнейшем изложении (как и в предшествующем) будут преобладать опытные данные. В некоторых случаях теоретические соображения сами напрашиваются для освещения собранных наблюдений, но я всемерно стараюсь воздержаться от таких соображений, зная из опыта истории точных наук, что рановременные обобщения часто задерживали правильную постановку опытных исследований и что только после накопления достаточно разнообразных опытов могут зарождаться столь здравые мысли и такие объяснения, которые ведут к предвидению ненаблюденного, что одно, по моему мнению, и составляет залог достижения истины. Обобщать — «скоро, да не споро» — по русской поговорке, я воздержусь.

---

[1] Я имею в виду определить еще влияние звуковых, световых и тому подобных колебаний на размахи весов, но опыты этого рода еще не было времени организовать в надлежащем виде.

Зато, ввиду бедности опытных исследований, касающихся самоважнейшего измерительного прибора естествоиспытателей, я постараюсь не пропустить даже беглых наблюдений, попутно собранных (до августа 1898 г.) в Главной палате, надеясь, что это может послужить на пользу будущего теоретического исследования весов и помочь делу точного их устройства и приложения как в метрологии, так и в естествознании вообще. Если чего возможно достичь в понимании тяготения и тяжести, то, по моему мнению — не иначе и скорее всего путем точнейших взвешиваний и наблюдений колебаний, при них совершающихся.

В распределении опытных данных я буду следовать порядку, в котором выше перечислены обстоятельства, влияющие на декремент. Но раньше того, я должен оговориться в том отношении, что лишь в немногих случаях, по множеству настоятельных дел Главной палаты, а особенно сложного дела — возобновления прототипов — удалось найти достаточно времени для полной опытной обстановки многих рождавшихся вопросов, а потому некоторые наблюдения и данные страдают отрывочностью. Но и такие наблюдения я считаю не излишним описывать, рядом с более полными, по причине, выше объясненной, и еще потому, что мои годы и здоровье уже не позволяют рассчитывать на долгие сроки, так что откладывать не приходится.[1]

§ 20. **Влияние веса всей нагрузки на декремент** (и время t). По всей видимости, в весах, как и в физических маятниках,[2] колебания, т. е. времена размахов и их размеры,

[1] Мне следовало бы здесь особо сказать еще о соотношении между отклонениями r, декрементами D и временами t одного размаха, а также о приведении времен к бесконечно малым размахам (как это производится при изучении колебаний маятника), но, во-первых, об этом говорено кое-что в § 17, во-вторых, я предпочитаю говорить об этом особо, отчасти при рассмотрении зависимости декремента от разных влияний, и, в-третьих, предмет этот, представляющий большой и самостоятельный интерес, я надеюсь, если позволят обстоятельства, рассмотреть в особой статье, когда успею произвести надлежащие наблюдения с маятниками и маховиками. Что же касается до весов, то в предлагаемом исследовании имеется много данных для исследования указанных вопросов, и некоторые общие выводы очевидны прямо из данных сопоставлений, особенно в §§ 13 и 18 и в дальнейших, начиная с § 20.

[2] В теории физического маятника, однако, доныне предмет этот остается почти нетронутым; предполагается, что физический маятник свободен, как математический, а между тем трение ножа совершенно равнозначаще с трением оси в подшипниках. По этой-то причине я и предполагаю произвести несколько наблюдений над тяжелым маятником, качающимся на цапфах, трение в которых более всего подходит к случаям, практически исследованным для машин и колес. Особый инте-

а следовательно, и декремент, много зависят от трения ножей о площадки или подушки, на которые опирается коромысло, и что это трение, составляя главную причину погасания (убыли) размахов, зависит от давления, а давление от веса коромысла + чашки + нагрузки весов или, в маятниках, от всего веса качающейся массы. Предмет же трения твердых тел труден и во многом не ясен, а потому ранее чем судить о зависимости, здесь существующей, я старался собрать возможно полные опытные данные об изменении колебания весов при перемене общего давящего веса P, тем более, что в литературе мне нигде не встречалось сколько-либо полной обработки подобных наблюдений. Одни из наиболее ценных наблюдений этого рода произведены в 1882 г. г-ном Цвинком (Zwink), по предложению директора берлинского K. Normal Eichungs — Kommission, известного астронома Ферстера (Förster) и по инициативе г-на Тизена (Dr. Thiesen), который отчасти их и обработал[1] вместе с Цвинком. Наблюдения эти произведены на малочувствительных лабораторных весах Schickert, назначенных для нагрузок до 120 г. Вес коромысла и чашек, к сожалению, не дан, а нагрузка изменялась пять раз от 0 до 100 г. Каждый раз наблюдалось 50—60 элонгаций и регистрировались времена, которые и обработаны авторами.[2] Все это изложено с такою полнотою, что можно извлечь ясное понятие об изменениях D и t, которые даны далее в таблице. Значение большинства букв — то же, какое применяется нами во всем нашем исследовании. Означим сверх того чрез p вес на-

---

рес в этом отношении представляют колебания тяжелого махового колеса (на разных подшипниках), неравномерно нагруженного на окружности, так как по уничтожении этой неравномерности есть возможность получить понятие о трении, заставив маховик вращаться и определяя закон убыли угловой скорости.

[1] Они описаны и приведены в полноте в: Travaux et Mémoires du Bureau Intern., v. V, 1886, Observations, стр. XVI—XXIII. Вес литра воздуха не приводится.

[2] Не подлежит сомнению, что понятия о постоянстве декремента, приложенные г-ном Тизеном (l. c.) к многим взвешиваниям, при которых наблюдалось по 10 элонгаций, совершенно не приложимы к наблюдениям, содержащим 50—60 отсчетов, и я думаю, что именно по этой причине указанные понятия и не распространены на данные, собранные г-ном Цвинком. А так как те и другие наблюдения содержатся в одном мемуаре г-на Тизена, то и неудивительно, что он неоднократно говорит о недостатках теории, им принятой и взятой из теории маятника (l. c.). Считаю долгом сказать это здесь по той причине, что для меня указанное обстоятельство служило одним из многих поводов ближе вникнуть в совокупность явлений, замечаемых при колебании весов.

№ ряда Цвинка	1882 г., октябрь	$P = x + z + 2p$ p, в граммах [1]	1 div., в миллиграммах k	Отклонения	
				2-е r_2 div.	50-е r_{50} div.
3	28	100	0.50	7.08	1.70
4	28	100	0.50	7.30	1.58
5	28	50	0.45	7.37	1.72
6	28	50	0.45	7.58	1.73
1	27	20	0.43	8.33	1.57
2	27	20	0.43	7.87	1.47
7	30	20	0.43	8.10	1.42
8	30	20	0.43	8.05	1.40
9	30	0	0.42	7.13	1.40
11	30	$-z$	?	8.85	5.45
12	30	$-z$	?	7.27	4.47

грузки на одну чашку, в граммах, P — общий вес всех движущихся частей, k — число миллиграммов, соответствующее одному делению шкалы.[4]

Из прилагаемой таблицы (стр. 570) видно, что здесь с возрастанием нагрузки чашек[5] возрастают времена t, а декременты уменьшаются. Подобное же явление замечается в некоторых наших весах (табл. 13), но это не составляет нормы, как увидим далее, и этого, a priori, ожидать нельзя, так как при увеличенной нагрузке прежде всего ожидается увеличенное трение ножей, а от этого, казалось бы, с увели-

---

[1] Чрез x означен неуказанный вес коромысла, z — общий вес чашек. В п°п° 11 и 12 указана нагрузка $-z$, чем означено, что чашки сняты и колебалось одно коромысло. Можно расчесть, что каждая чашка весит около 30—50 г.

[2] Так означено время одного размаха, при $n = 10$. Числа, находящиеся в этом и следующих столбцах, извлечены мною прямо из данных наблюдений (l. c.).

[3] В этом столбце даны рассчитанные мною средние времена, отвечающие бесконечно малым размахам.

[4] Вообще размахи отвечают в этих наблюдениях столь малым отсчетам (16—2 div.), что в отдельных D_n нельзя ждать точности, особенно не сделав поправки на L. При расчете декремента я брал поэтому отклонения для $n + 8$ и $n - 8$ (см. конец § 10).

[5] Колебания одного коромысла представляют, конечно, другое явление, чем коромысла с чашками (о чем мы будем говорить далее), а потому п°п° 11 и 12 в счет идти не должны.

Времена 1 размаха, в секундах				Декременты			
t_{10} [2]	t_{25}	t_{40}	$t_{r=0}$ [3]	D_{10}	D_{25}	D_{40}	$d=D_{r=0}$
26.35	26.19	26.11	26.0	1.0312	1.0301	1.0281	1.028
26.54	26.38	26.31		336	290	328	
23.66	23.55	23.45	23.2	1.0328	1.0317	1.0302	1.029
23.67	23.54	23.43		327	332	281	
21.27	21.20	21.12		1.0386	1.0366	1.0343	
21.32	21.14	21.09	20.8	373	340	352	1.034
21.03	20.87	20.76		379	363	371	
21.01	20.86	20.77		389	371	375	
18.99	18.86	18.79	18.7	1.0396	1.0405	1.0370	1.037
14.32	14.30	14.28	13.6	1.0094	1.0107	1.0096	1.010
14.28	14.25	14.23		103	92	107	

чением нагрузки декремент должен был бы возрастать, а не уменьшаться.

В наших наблюдениях, произведенных с разными весами и, по возможности, в широких пределах изменения нагрузки, было принято за основание: 1) каждый раз определять не только вес нагрузки (состоящий, например, из веса гирь p и из подставок p'), лежащей на каждой чашке, но и вес коромысла и чашек с подвесками, которыми они соединяются с коромыслом, чтобы иметь понятие об общем весе P, давящем на острие среднего ножа; 2) в каждом наблюдении определять вес миллилитра воздуха e (в миллиграммах), так как D и t зависят отчасти от этого веса e; 3) измерять для каждых весов площадь чашек q в квадратных сантиметрах, так как, оказывая сопротивление при колебаниях, она влияет на D и t; 4) в каждом ряде наблюдений определять меру чувствительности, выражая ее чрез k, т. е. числом миллиграммов, отвечающих 1 div.;[1] 5) определять при колебаниях весов как среднее время одного размаха t, так и декремент D, чтобы из них узнать t и D при $r=15$, если для этого перехода есть соответственные наблюдения; 6) чтобы сделать сравнимыми все полученные данные, находить угол, соответствующий 15 div. шкалы, что обо-

[1] Очевидно, что чувствительность $=\frac{1}{k}$.

значено далее так: 15 div. = стольким-то минутам дуги круга, и 7) наблюдать отдельно колебания коромысла без чашек, чтобы этим воспользоваться для суждения о мере трения боковых ножей. Во всей полноте подобные наблюдения сложны, а потому мы до сих пор не все то восполнили, что было бы желательно, но для некоторых весов — данные далее приводятся.

Для начала берем **весы Рупрехта**, служащие для навесок до 1 кг. Взвешивания на них применены в большинстве определений, произведенных в Главной палате при возобновлении прототипов (ч. IV). При этих текущих взвешиваниях времена не определялись, но их изменение известно при разных нагрузках из данных, наблюденных при изучении колебаний. Взвешивания, помещенные в IV части этого отчета, обработаны по «сокращенному» способу, изложенному в § 5, т. е. декремент разочтен по формуле

$$D = \frac{\Sigma l_1 - \Sigma l_2 + \Sigma l_3 - \Sigma l_2}{\Sigma l_3 - \Sigma l_2 + \Sigma l_3 - \Sigma l_4}\,.^{1} \qquad (B)$$

[1] Сверх того, что дано в § 5 для характеристики точности этого способа расчета, считаю не излишним добавить, что разные способы применения «сокращенного» способа (основанного на нахождении сумм элонгаций и на расчете по ним среднего D) дают почти тождественные результаты, как показало испытание. Для примера взят ряд взвешиваний под п° п° 559 и 560 (см. ч. IV), где содержится всего 10 взвешиваний ($m = 10$).

$\Sigma l_1 = 2035.35$, $\Sigma l_2 = 1282.10$, $\Sigma l_3 = 2020.65$, $\Sigma l_4 = 1296.85$ и $\Sigma L = 1655.06$.

Сперва рассчитываем отсюда D по принятому выше способу; получаем:

1) $D = 1.02014$ и среднее $R = 73.85$ div.

Затем из размахов R_1, R_2 и R_3 получаем 2 декремента: $D_1 = 1.01990$ и $D_2 = 1.02038$, из них среднее

2) $D = 1.02014$.

Потом находим по ΣL и Σl_i суммированные отклонения Σr_i и по ним вычисляем 3 декремента, деля Σr_1 на Σr_2 и т. д., а именно: $D_1 = 1.01966$, $D_2 = 1.02015$ и $D_3 = 1.02061$ (здесь декремент возрастает по мере уменьшения r, но разности в пределе погрешностей), в среднем:

3) $D = 1.02014$ и среднее $r = 36.94$ div.

Наконец, из отклонений рассчитываем сразу средний D, как это делается из размахов:

$$4)\ D = \frac{\Sigma r_1 + \Sigma r_2 + \Sigma r_3}{\Sigma r_2 + \Sigma r_3 + \Sigma r_4} = 1.02014.$$

Все способы дают то же число до стотысячных долей D. Притом среднее r почти равно $^1/_2$ среднего R, чем мы далее и пользуемся.

Из свода данных табл. 10 видно, что нахождение декремента из многих (m) взвешиваний может давать удовлетворительные результаты, и мы потратили много времени для их получения. Но затем я отказался от

При определении всего давящего веса P здесь и далее приведены только граммы, потому что погрешности декремента не позволяют определять его изменения при разности грузов на 1 г, а потому эти веса не исправлены на вес вытесняемого воздуха, т. е. даются такими, какими получаются в воздухе. В прилагаемой таблице (10) соединены данные для D, разочтенные (по «сокращенному» способу) для весов Рупрехта, когда k от 0.032 до 0.035 мг. Они расположены по убывающему весу нагрузки, а так как большинство основных данных помещено в IV части этого отчета, то я не считаю необходимым усложнять отчет приведением других, там не помещенных наблюдений, которые подвержены расчету, по разным причинам.

Хотя обзор средних ясно указывает здесь возрастание декремента с возрастанием нагрузки (для других весов замечается обратное), тем не менее по отношению к декрементам D, приведенным в табл. 10, необходимо заметить, что они могут точно показывать истинную зависимость (от веса нагрузки) только после приведения к одному и тому же отклонению, например $r = 15$ div., к одной плотности воздуха (1.200 мг) и к одинаковой чувствительности (например 0.0330 мг). Чтобы иметь возможность сделать первую из этих поправок, недостаточно тех данных, которые собраны ранее (в табл. 9), потому что при этих наблюдениях для весов Рупрехта — k около 0.024, а при взвешиваниях, как видно из табл. 10, k около 0.033. Поэтому стало необходимым собрать сведения о колебаниях, когда k около 0.033 мг, чтобы получить понятие о величине α (необходимой для приведения к D_{15}) при такой k чувствительности. Наблюдения[1] велись точно так же, как прежде (§§ 10 и 12),

---

пользования этим приемом, так как при нем все же встречаются усложнения, зависящие от небольших перемен в k. Большинство дальнейших выводов опирается на особые опыты, прямо направленные к определенной цели.

[1] Они относятся к тому 3-му разряду «дополнительных» наблюдений, о которых упомянуто в § 10. Часть этих наблюдений (числом около тридцати) помещена со всеми данными опыта в этом и следующих параграфах. Считаю не излишним заметить, что приготовление к некоторым опытам требовало большего времени, самое наблюдение расходовало его лишь немного, но полный расчет и проверка его всегда брали много труда и времени. По этой-то причине многие *из дополнительных наблюдений* рассчитывались особыми — сокращенными — способами, над которыми считаю излишним особо останавливаться. А так как подлинные числа отсчетов все приведены, то желающие могут произвести и полный расчет. За корректурою чисел внимательно следили по подлинникам: В. Д. Сапожников, О. Э. Озаровская и Е. Ф. Эндимионова.

Табл

Средний декремент (выведенный по «сокращенному» способу, § 5, из

(на 1000 г

Постоянные этих весов: a) вес коромысла $p_1 = 677.67$ г; b) вес двух чашек
d) горизонтальная площадь каждой чашки $q = 64.21$ см^2, когда лежит плас-
e) 15 div. шкалы = 22.5

n°n°	p	p' [1]	P	k	e
		в граммах		в миллиграммах	
667—678	1 кг	90.9	**3413**	0.0346	1.195
679—690	То же			0.0347	1.204
691—702	То же			0.0348	1.197
319—323	1 кг	76.2	**3384**	0.0329	1.215
324—328	То же			0.0329	1.195
751—758	400 г	71.5	**2174**	0.0333	1.225
378—394	1 фунт	17.75	**2086**	0.0328	1.196
395—410	То же	»	»	0.0330	1.189
411—430	То же	»	»	0.0332	1.180
443—458	То же	»	»	0.0329	1.190
459—478	То же	»	»	0.0326	1.196
419—494	То же	»	»	0.0326	1.219
735—750	То же	»	»	0.0329	1.223
775—782	200 г	37.7	**1707**	0.0326	1.205
613—620	24 золотника	37.7	**1512**	0.0320	1.231
783—798	100 г	37.7	**1507**	0.0323	1.181
605—612	12 золотников	51.1	**1436**	0.0320	1.201
799—806	40 г	37.7	**1387**	0.0323	1.184
823—830	10 »	37.7	**1327**	0.0320	1.214
855—862	1 »	37.7	**1309**	0.0322	1.204

[1] Чрез p' означен вес подставки, на которую кладется гиря при взвешивании.

[2] m означает число взвешиваний, из которых извлечено D.

ица 10

m взвешиваний, каждое по 4 элонгации) для весов Рупрехта

нагрузки)

с подвесками $p_2 = 553.72$ г; с) длина каждого плеча коромысла 179 мм; тника горного хрусталя для фунтов, и $q = 21.81$ см², когда ничего не лежит; мм = 11.2 минутам дуги.

m [2]	*r* [3] div.	*D* [4]	Средние	*D* при *r* = 15
72	13.7	1.02585	*P* = **3406** г	1.0258
72	15.5	1.02534	*k* = 0.0340 мг	
72	13.9	1.02575	*e* = 1.201 »	
50	21.2	1.02742	*r* = 17.2 div.	
50	21.7	1.02664	*D* = **1.02620**	
40	16.5	1.02349		
137	16.2	1.02277		
129	16.9	1.02229	*P* = **2097** г	1.0225
160	15.9	1.02341	*k* = 0.0329 мг	
128	21.2	1.02347	*e* = 1.202 »	
160	19.2	1.02365	*r* = 17.9 div.	
64	18.6	1.02548	*D* = **1.023495**	
80	18.5	1.02340		
40	12.9	1.02083	*P* = **1540** г	1.0182
40	26.9	1.02057	*k* = 0.0322 мг	
80	17.7	1.01882	*e* = 1.204 »	
40	26.5	1.02112	*r* = 21.0 div.	
			D = **1.020335**	
			P = **1341** г	1.0177
40	18.8	1.01827	*k* = 0.0322 мг	
40	15.8	1.01885	*e* = 1.201 »	
40	20.3	1.01969	*r* = 18.3 div.	
			D = **1.01893**	

[3] *r* означает средний полуразмах всех *m* взвешиваний.

[4] Чрез *D* означен декремент, полученный из всех *m* взвешиваний, по «сокращенному» способу.

определялось 32 элонгации, времена отмечались ручными часами, обыкновенно после 1, 11, 21 и 31-й записей элонгаций, рассчитывались же или по формуле (VIII) (§ 13), или по более краткому приему, дозволяющему выводить t_{15}; элонгации рассчитаны или по (X) (§ 16), или по более скорому приему, чтобы выводить d, α и D_{15}[1]. План наблюдений, помещенных в табл. 11, состоял в том, чтобы узнать при k, близком к тому, какой в табл. 10, изменение D_{15}, α и t_{15} при крайних нагрузках весов Рупрехта, т. е. при $p=1$ кг и 0 г, а также при нагрузке 1 фунтом, потому что большинство полнейших наблюдений собрано при этой последней нагрузке. Сверх этого в начале прилагаемой таблицы (11) даны два ряда наблюдений над колебаниями при k около 0.022 мг, без нагрузки или с ничтожным $p=0.1$ г, чтобы дополнить ряд наблюдений, собранных при этой чувствительности, и помещены наблюдения над колебанием одного коромысла весов Рупрехта, хотя эти последние наблюдения относятся не прямо к вопросу о влиянии груза на t и D, а к вопросу о мере влияния трения на боковых ножах (призмах), что будет рассматриваться в одном из следующих параграфов.[2] Значение букв то же, что и в других таблицах и во всем этом исследовании. Для сокращения таблицы я считаю излишним приводить вычисленные и сглаженные[3] отклонения r, а даю только наблюденные элонгации, так как способы вывода из них L и r даны выше. Таково же, как здесь, расположение и некоторых других таблиц дополнительных наблюдений, далее приводимых.

Так как D для данных весов (при надетых чашках) есть, очевидно, функция r, e, k и P, то для перехода от данного (по наблюдениям) D к D_{15} необходимо, по крайней мере в первом приближении, знать изменение декремента при перемене r, e, k и P, или $\frac{\partial D}{\partial r}=\alpha$, $\frac{\partial D}{\partial e}$, $\frac{\partial D}{\partial k}$ и $\frac{\partial D}{\partial P}$ — при прочих равных условиях.

---

[1] В таблицах дается $D_{15}=d+15\alpha$; зная α, r_0 и d, легко по (X) найти N и K.

[2] В весах Рупрехта колебания одного коромысла (n° n° 1024 и 1025) могли наблюдаться без изменения положения гайки, изменяющей чувствительность. Времена размахов стали при этом очень малы, равно как и декремент, изменялись они очень мало, а потому я предпочел расчесть оба наблюдения вместе, по средним величинам размахов и времен. Подлинные числа наблюдений, однако, приведены порознь и дают факты во всей их цельности.

[3] Сглаживались r при $n=5$, 9, 13, 17, 21, 25 и 29.

Сопоставляя данные табл. 9 и 11, можно заключить, что при навеске (p) в 1 фунт (409.51 г), когда $P=2086$ г, величина α немного возрастает, если k возрастает. Поэтому нельзя считать $\alpha=0.0002$ при $k=0.033$. Но так как в определении α нельзя ждать большой точности и изменения этой величины вообще невелики, то при $k=0.033$ можно принять среднее (из n° n° 1030—1040, табл. 11) значение ($\partial D/\partial r$ или) $\alpha=+0.00036$ для всех P. Этот коэффициент применен в табл. 10 для перехода от D_r к D_{15}, и если при этом делается некоторая погрешность, то малая, так как вся поправка для приведения к $D_{r=15}$ не превосходит -0.0022 и ее погрешность едва ли превосходит ± 0.0005 в величине D_{15}, т. е. находится в пределе общих погрешностей, свойственных декременту. Невелика также поправка на переменную плотность воздуха e, потому что эта плотность изменялась незначительно (e от 1.201 до 1.204 в табл. 10 для средних данных), а опыт показывает, что даже при переходе от $e=1.2034$ к $e=0.23$ (табл. 9), если чувствительность остается почти одна и та же, — декремент D_{15} изменяется лишь от 1.0286 до 1.0248, что позволяет принять коэффициент поправки на плотность воздуха $(\partial D/\partial e)=+0.004$. Все данные приведены к $e=1.200$, а потому вся поправка очень мала.[1] Более значения и более сомнений представляет коэффициент $\partial D/\partial k$ — для поправки на изменение чувствительности, о чем подробнее говорится в § 22. Вследствие этого я пока вовсе не произвел этой поправки, а только взял средние величины при близких k. Сводя полученные числа для разных нагрузок чашек при $r=15$ div. и $e=1.200$ мг, получаем:

Табл.	Общий вес P, в граммах	k	D_{15}	Среднее P	Среднее k	Среднее D_{15}	t_{15}, в секундах
10	3406	0.0340	1.0258	3360	0.0353	1.0244	48.2
11	3315	0.0367	1.0229				
10	2097	0.0329	1.0225	2091	0.0330	1.0217	38.3
11	2086	0.0330	1.0209				
10	1540	0.0322	1.0182	1440	0.0322	1.0180	28.5
10	1341	0.0322	1.0177				
11	1231	0.0310	1.0136	1231	0.0310	1.0136	27.3

[1] Например в n° 1030 величина $e=1.220$; для приведения D_{15} (1.0127) к $e=1.2$ должно прибавить к D_{15}: 0.004 (1.200—1.220), что $=-0.00008$, а потому при $e=1.2$ получится $D_{15}=1.0127-0.00008=1.0126$.

Табл

Дополнительные наблюдения над колебани

(Основные данные для этих ве

n	n° 984 З.	n° 989 С.	n° 1024 З.	n° 1025 С.
1	$l = 208.9$	196.0	172.65	172.55
2	162.05	132.1	121.9	124.05
3	207.9	194.0	172.15	171.0
4	163.1	133.35	122.25	124.5
5	206.85	192.6	171.75	170.3
6	164.05	134.5	122.75	124.8
7	205.95	191.4	171.3	170.2
8	164.95	135.7	123.0	125.2
9	205.05	190.35	171.05	170.0
10	165.85	136.8	123.25	125.6
11	204.3	189.3	170.75	169.6
12	166.6	137.75	123.8	125.8
13	203.6	188.35	170.25	169.2
14	167.35	138.7	124.15	126.1
15	202.8	187.3	169.9	169.0
16	168.0	139.65	124.4	126.5
17	202.2	186.4	169.3	168.7
18	168.7	140.5	124.8	126.8
19	201.6	185.6	169.2	168.3
20	169.3	141.25	125.1	127.1
21	200.9	184.8	168.8	168.0
22	169.85	142.15	125.6	127.3
23	200.4	184.05	168.3	167.9
24	170.45	142.9	125.8	127.7
25	199.8	183.3	168.3	167.5
26	171.0	143.6	126.2	128.0
27	199.3	182.55	168.0	167.1
28	171.6	144.3	126.55	128.2
29	198.8	181.95	167.6	166.8
30	171.95	145.0	126.8	128.5
31	198.25	181.3	167.2	166.5
32	$l = 172.4$	145.6	127.0	128.7
$n = 1.5,\ T = 0$				
$n = 11.5;\ T =$	—	320.6	150.6	150.6
$n = 21.5;\ T =$	—	640.8	300.6	300.2
$n = 31.5;\ T =$	979.0	959.8	451.0	450.6

ица 11

ями весов Рупрехта, поднимающих до 1 кг

сов помещены при табл. 10)

№ 1030 З.	№ 1031 С.	№ 1032 З.	№ 1033 С.	№ 1039 З.	№ 1040 С.
174.75	166.85	165.9	167.15	167.05	171.05
120.8	129.4	129.15	129.15	126.75	123.2
173.7	166.05	164.75	166.1	166.0	169.75
121.6	130.0	129.9	130.0	127.7	124.2
173.0	165.5	163.9	165.1	165.0	168.45
122.25	130.5	130.75	130.7	128.5	125.35
172.1	165.0	163.1	164.45	164.05	167.4
122.95	131.0	131.3	131.3	129.3	126.4
171.65	164.3	162.4	163.9	163.25	166.4
123.6	131.45	131.9	132.0	129.95	127.35
170.9	163.95	161.8	163.05	162.5	165.5
124.25	132.0	132.55	132.65	130.75	128.3
170.25	163.5	161.15	162.55	161.8	164.55
124.8	132.3	133.0	133.2	131.45	129.1
169.7	163.0	160.6	162.0	161.0	163.75
125.35	132.9	133.6	133.7	132.0	129.95
169.0	162.6	160.05	161.3	160.4	162.95
125.9	133.15	134.05	134.05	132.7	130.6
168.4	162.1	159.6	160.95	159.8	162.15
126.7	133.7	134.5	134.65	133.25	131.4
167.95	161.75	159.0	160.3	159.2	161.5
127.1	134.0	135.05	135.1	133.75	132.0
167.3	161.4	158.65	160,0	158.75	160.8
127.7	134.3	135.35	135.6	134.2	132.6
166.8	161.0	158.15	159.45	158.1	160.05
128.0	134.75	135.85	136.0	134.8	133.3
166.25	160.55	157.8	158.95	157.7	159.55
128.6	135.05	136.3	136.4	135.2	133.9
165.85	160.3	157.35	158.6	157.25	159.0
129.1	135.5	136.75	137.0	135.65	134.35
165.35	160.0	157.0	158.05	156.8	158.5
129.55	135.8	137.0	137.2	136.05	134.9
274.4	273.6	386.0	383.4	482.4	483.6 сек.
548.4	546.6	770.6	765.8	963.0	966.4 »
822.0	819.6	1155.0	1147.6	1442.8	1448.4 »

	n	n° 984 З.	n° 989 С.	n° 1024 З.	n° 1025 С.
	$p =$	0.1	0	Одно коромысло,	
	$p' =$	17.8	0	без подвесок и чашек	
	$P =$	**1267**	**1231**	**678**	**678**
	$k =$	0.0227	0.0226	0.0290	0.0290
	$e =$	1.196	1.195	1.206	1.206
Разочтено	$t_{15} =$	**32.5**	**31.8**	**15.0**	**15.0**
Разочтено	$d =$	1.01188	1.01161	1.00402	
Разочтено	$\alpha =$	0.00046	0.00031	0.00017	
Разочтено	$D_{15} =$	**1.0187**	**1.0163**	**1.0066**	

NB. Начиная с n° 1024 положение гайки, служащей для изменения меры в k определяются только навеской: $p + p'$. Но в n°n° 984 и 989 поло-

Отсюда очевидно, что *для наших весов Рупрехта* (силою в 1 кг) *декремент и время 1 размаха* t (как и k)[1] *с увеличением нагрузки чашек явно возрастают.* Это тем примечательнее, что для некоторых весов, как увидим далее (и как дали весы, исследованные Цвинком, стр. 569), декремент падает с возрастанием нагрузки.[2]

Кроме весов Рупрехта, служивших для большинства взвешиваний, помещенных в IV части отчета, при возобновлении прототипов, мы много пользовались весами Неметца, поднимающими также до 1 кг груза на каждой чашке. Если в

[1] С увеличением нагрузки P чувствительность всегда, в исследованных до сих пор мною весах, падает, или k (величина обратная с чувствительностью, которая $= 1/k$) возрастает. При этом обыкновенно возрастает и время t_{15}. Но пропорциональности здесь нет, как утверждали не раз. Так, например, для весов Рупрехта t возрастает (с увеличением P) быстрее, чем k, а для весов Неметца гораздо медленнее. Поэтому зависимость k от t изменяется с весами и настолько сложна, что по временам размахов можно судить о чувствительности только путем особых исследований, предпринятых для данных весов. Более простого соотношения t к k не существует. Для весов Колло (табл. 14) k возрастает, а t уменьшается.

[2] Можно полагать, что декремент возрастает с нагрузкою от того, что тогда возрастает трение, увеличивающееся с давлением груза. Что же касается до случая уменьшения D при возрастании нагрузки, то причину должно, быть может, искать в увеличении инерции, зависящей от массы, и в расположении трех ножей. Выставляя ряд сюда относящихся фактических данных, имеющих, как я думаю, некоторое значение для теории и практики весов и взвешиваний, я — согласно с тем, что говорил в § 19,

[*Продолжение*]

№ 1030 З.	№ 1031 С.	№ 1032 З.	№ 1033 С.	№ 1039 З.	№ 1040 С.	
0	0	409.51	409.51	1000	1000	г
0	0	17.75	17.75	41.67	41.67	»
1231	**1231**	**2086**	**2086**	**3315**	**3315**	»
0.0310	0.0310	0.0330	0.0330	0.0367	0.0367	мг
1.220	1.219	1.220	1.220	1.217	1.217	»
27.3	**27.3**	**38.5**	**38.3**	**48.1**	**48.2**	сек.
1.01089	1.00804	1.01120	1.01180	1.01750	1.01747	
0.00012	0.00044	0.00067	0.00058	0.00035	0.00037	
1.0127	**1.0146**	**1.0213**	**1.0205**	**1.0227**	**1.0230**	

чувствительности, оставалось во всех наблюдениях одно и то же, и пережение гайки было иное (выше), для повышения чувствительности.

IV части отчета не помещены эти взвешивания, то причиною тому служит исключительно то обстоятельство, что на этих весах производилась масса предварительных взвешиваний (особенно при подгонке гирь к надлежащему весу и при изучении подразделений килограмма и фунта), а затем одна из пружин арретирного механизма стала портиться и необходимо было озаботиться о ее переделке, что выполнено с полным успехом г-ном Неметцем к тому времени, когда главные взвешивания были уже произведены на весах Рупрехта. Поэтому по исправлении весы Неметца служили нам часто для опытов над точными взвешиваниями, и здесь приводятся для них данные в полной параллельности с данными (табл. 10 и 11) для весов Рупрехта. Табл. 12 содержит данные для первоначального состояния весов Неметца,[1] а [табл.] 13 и 9 — для современного.

по возможности воздерживаюсь от теоретических соображений. С фактической же стороны укажу здесь на то, что в весах Рупрехта и Колло ножи (призмы) стальные, а подушки для них кварцевые; коромысло весов Рупрехта, как у большинства весов, вырезное, а у весов Колло — сплошное, без вырезов. Относительное положение ножей в разных весах Главной палаты до сего времени не определялось. Для этого организуются особые опыты. В весах Неметца — нож из кремня.

[1] Положение равновесия (после арретировок) стало в этих весах изменяться (от некоторой порчи в механизме), а потому результаты не надежны — до новой переделки в 1897 г. Систематических определений для них сделано мало (табл. 13).

Табл

Средний декремент, выведенный по «сокращенному» (см. табл. 10)

Постоянные этих весов: а) вес коромысла $p_1 = 518.23$ г; б) вес каждой под- г) длина каждого плеча коромысла 144 мм; д) горизонтальная площадь $= 15$ мм $= 4.67$

№№	p	p'	P	k	e
		в граммах		в миллиграммах	
298—302	1 кг	91.80	**3542**	0.0664	1.215
280—284	400 г	29.83	**2218**	0.0409	1.178
249—252	200 »	22.31	**1803**	0.0319	1.207
263—266		То же		0.0328	1.206
217—218	40 г	9.41	**1457**	0.0099	1.194
227—228	10 »	9.41	**1397**	0.0106	1.199
241 и 232	3 »	9.41	**1383**	0.0112	1.215

Данные таблицы 12, как сказано выше, собраны при прежнем (до починки) состоянии весов Неметца, и в них замечаются разного рода неравенства, возбуждающие сомнения и, быть может, зависящие от начала той порчи арретировочного прибора, которая заставила их починивать, а потому более важны для весов Неметца данные, полученные после переделки, куда относятся числа табл. 9 и 13. Эта последняя таблица содержит дополнительные наблюдения, произведенные в 1898 г. на этих весах.

---

[1]* Для перехода от D_T к D_{15} здесь применялся коэффициент $\alpha = 0.00064$. Он получен как среднее из 7 последних наблюдений, приведенных в табл. 13. Такой же коэффициент α получен и в среднем из данных, помещенных в табл. 9. Иных данных, прямо относящихся к тому состоянию весов Неметца, в каком они были (в 1895 г.) до переделки, для α нет, и я имею повод думать, что в состоянии весов Неметца произошли после их поправки существенные перемены к лучшему. Сомневаясь в соответствии прежнего (1895) и современного (1898) состояния весов Неметца, я и ограничил число данных, взятых из прежнего времени. Поправка на e (в дальнейшей сводке) принята, как ранее, $= 0.004\ (1.2 - e)$.

* Сноска относится к стр. 583 [*Прим. ред.*].

ица 12

способу (§ 5) для весов Неметца, поднимающих 1 кг

вески без переносной чашки = 314.17 г; в) вес переносной чашки 106.02 г; каждой чашки (за вычетом вырезов) $q = 59.89$ см^2; е) 15 div. шкалы = минуты дуги

m	r div.	D	Средние [1]	
47	20.5	1.04936	$k = 0.0536$ мг	$r = 24.4$ div.
47	28.4	1.06078	$e = 1.196$ »	$D_T = 1.0551$
			$P =$ **2880** г	$D_{15} =$ **1.0491**
42	12.0	1.05693	$k = 0.0323$ мг	$r = 18.6$ div.
			$e = 1.206$ »	$D_T = 1.05392$
46	25.1	1.05091	$P =$ **1803** г	$D_{15} =$ **1.0516**
20	40.4	1.03426	$k = 0.0106$ мг	$r = 28.7$ div.
20	22.5	1.03526	$e = 1.203$ »	$D_T = 1.03498$
20	23.1	1.03542	$P =$ **1412** г	$D_{15} =$ **1.0262**

Сводя все (табл. 9, 12 и 13) данные, добытые для весов Неметца при $e = 1.2$, $r = 15$ div., имеем для разных нагрузок чашек:

Табл.	P в граммах	k в миллиграммах	D_{15}	P в граммах	k в миллиграммах	D_{15}	t_{15}, в секундах [2]
13	3442	0.0670	1.0313	3161	0.0603	1.0402	33.7
12	2880	0.0536	1.0491				
9	2361	0.0530	1.0347	2287	0.0481	1.0351	33.3
13	2213	0.0433	1.0355				
12	1803	0.0323	1.0516	1525	0.0221	1.0390	32.8
12	1412	0.0106	1.0262				
13	1359	0.0234	1.0392				
9	1147	— [3]	1.0320	1147	0.0192	1.0357	30.5
13	1147	0.0192	1.0393				

[2] Времена взяты по данным табл. 9 и 13. Но они здесь менее надежны, чем в других весах.

[3] Чувствительность в п°п° 932 и 933 не была определена; в п° 1045 получено $k = 0.0192$, его я и принял в выводе. Но заметим, что для п°п° 932 и 933 $t = 28.0$ сек., а в п° 1045 $t_{15} = 33.1$, что уже показывает некоторую разность в состоянии весов.

Таблица 13

(См. табл. 11)

Дополнительные наблюдения над весами Неметца, поднимающими до 1 кг

(Основные данные этих весов помещены при табл. 12)

/n/	n° 1026 З.	n° 1027 С.	n° 1036 С.	n° 1037 З.	n° 1045 С.[2]	n° 1042 С.	n° 1043 З.	n° 1051 С.	n° 1052 К. Е.[3]
1	225.4	244.35	240.9	248.6	241.7	251.5	249.25	267.3	282.5
2	145.8	118.5	179.0	162.2	204.6	188.2	189.0	212.0	201.0
3	219.4	234.5	238.0	244.15	240.05	248.25	246.4	265.0	279.5
4	150.8	127.7	181.55	166.25	206.0	191.2	191.8	214.5	204.9
5	214.4	225.9	235.65	240.7	238.9	245.8	244.15	263.3	276.5
6	154.85	133.95	183.95	169.4	207.2	193.65	193.9	216.5	207.0
7	210.25	220.2	233.35	237.25	238.0	243.5	242.25	261.2	273.9
8	158.75	139.2	185.95	172.3	208.2	195.75	195.65	218.3	209.2
9	206.75	215.0	231.3	234.45	236.8	241.5	240.7	259.7	271.8
10	161.7	144.0	187.8	175.0	209.3	197.55	197.2	219.5	211.5
11	203.8	210.0	229.45	231.8	235.95	239.8	239.15	258.5	270.0
12	164.3	147.9	189.5	177.6	210.1	199.1	198.8	221.05	213.9
13	201.4	207.0	227.9	229.7	235.0	238.2	237.75	257.05	268.75
14	166.55	150.9	191.15	179.7	211.05	200.7	200.25	222.5	215.8
15	199.4	204.3	226.3	227.4	234.3	236.7	236.3	255.9	266.0
16	168.3	153.85	192.6	181.45	212.4	202.0	201.6	223.6	217.2
17	197.6	201.0	225.0	225.6	233.5	235.5	235.2	255.05	264.5
18	169.8	156.3	193.9	183.2	213.0	203.1	202.7	224.4	218.7
19	196.1	198.9	223.7	223.9	232.9	234.35	233.95	254.0	263.0
20	171.1	158.75	195.05	184.8	213.8	202.45	203.7	225.5	220.0
21	194.75	196.8	222.6	222.45	232.35	233.3	233.25	253.2	261.9
22	172.4	160.5	196.1	186.3	214.3	205.5	204.8	226.45	221.6
23	193.7	195.0	221.5	220.95	231.7	232.25	232.25	252.5	260.7
24	173.3	162.0	197.1	187.7	214.9	206.5	205.7	226.9	222.7

	25	192.75	193.6	220.65	219.7	231.1	231.5	231.4	251.8	259.5
	26	174.25	163.7	198.0	189.0	215.3	207.1	206.5	227.75	224.0
	27	191.75	192.0	219.95	218.7	230.7	230.5	230.7	251.05	259.0
	28	175.05	165.0	198.75	189.85	215.9	208.8	207.25	228.6	224.8
	29	190.75	190.9	219.1	217.4	230.25	229.75	229.85	250.55	257.7
	30	176.0	166.2	199.4	190.95	216.2	208.85	207.75	229.25	225.8
	31	190.05	189.7	218.55	216.55	229.8	229.1	229.35	249.95	256.5
	32	176.7	167.05	200.0	191.75	216.55	209.4	208.65	230.0	226.6
$n=1.5, T=0$	$n=11.5,\ T=$	368.6	374.4	331.6	331.6	331.4	336.6	337.2	339.8	341.6 сек.
	$n=21.5,\ T=$	731.2	744.0	660.2	660.6	660.8	670.8	672.2	676.8	680.6 »
	$n=31.5,\ T=$	1085.0	1110.0	987.2	988.6	988.4	1003.4	1005.6	1013.0	1018.0 »
	$p=$	Одно коромысло, без		0	0	0	409.51	409.51	1000	1000 г
	$p'=$	подвесок и чашек		0	0	0	17.75	17.75	41.67	41.67 »
	$P=$	518	518	1359	1359	1147	2213	2213	3442	3442 »
	$k=$	0.0028	0.0028 [1]	0.0234	0.0234	0.0192	0.0433	0.0433	0.0670	0.0670 мг
	$e=$	1.207	1.209	1.220	1.220	1.217	1.217	1.217	1.218	1.218 »
Разочтено	$t_{15}=$	36.3		32.8	32.8	33.1	33.3	33.4	33.7	33.7 сек.
	$d=$	1.03934		1.03101	1.03226	1.03835	1.02700	1.02134	1.01999	1.02319
	$\alpha=$	0.00094		0.00059	0.00042	0.00064	0.00071	0.00081	0.00086	0.00045
	$D_{15}=$	1.0534		1.0399	1.0386	1.0393	1.0376	1.0335	1.0329	1.0299

[1] Для наблюдений n° n° 1026 и 1027 (одно коромысло) пришлось изменить положение и вес гайки, служащей для изменения чувствительности, иначе не получалось устойчивости. Но затем опять взята была нижняя гайка и доведена до прежней чувствительности. Наблюдения на весах Неметца, начиная с n° 1026 (апрель 1898 г.), производились уже из вновь устроенного (непроницаемого для временных лучей тепла, идущих от наблюдателей) помещения, описанного в I части этого отчета. От этого еще улучшились и данные для весов Рупрехта (табл. 11), начиная с n° 1024.

[2] При этом наблюдении переносная чашка вновь была снята, как в n° n° 932 и 933 в табл. 9.

[3] Это и многие из последующих наблюдений на весах Неметца произведены К. Н. Егоровым, совместно с В. Д. Сапожниковым.

Отсюда видно, что общий результат всех вышеприведенных данных не столь ясен по отношению к изменению D_{15} с переменою P, как для весов Рупрехта, причину чего должно искать в том, что данные табл. 12 взяты из ранней эпохи (1895), когда весы Неметца не были еще поправлены и были, очевидно, в ином, чем ныне, состоянии. Исключив же эти последние, по данным табл. 9 и 13 — после поправки весов — получаем в среднем:

$P=3442$	$k=0.0670$	$D_{15}=1.0313$	$t_{15}=33.7$
» 2287	» 0.0481	» 1.0351	» 33.3
» 1359	» 0.0234	» 1.0392	» 32.8
» 1147	» 0.0192	» 1.0357	» 30.5

Т. е. с возрастанием нагрузки чашек *в весах Неметца* времена размахов, повидимому, возрастают, но медленнее, чем в весах Рупрехта, величина k (обратная чувствительности) также возрастает (быстрее, чем у весов Рупрехта), а *декремент сперва возрастает, а потом падает.*

Вывод этот и особенные условия его получения, равно как и то обстоятельство, что дополнить и проверить его на весах Неметца не было времени (весы эти заняты были другими опытами, когда указанный вывод был получен), заставил нас обратиться к другим весам, могущим служить для больших нагрузок, — чтобы дополнить сведения о зависимости декремента от нагрузки.

§ 21. *Влияние нагрузки на декремент* (продолжение). Так как декремент при данной нагрузке изменяется под влиянием многих обстоятельств и особенно под влиянием перемен в чувствительности, а она, как известно, изменяется не только от перестановки гайки, назначенной специально для этой цели, но и от перемены температуры, от изгиба коромысла и тому подобных обстоятельств, то — для суждения о зависимости D от P или p — сравнение наблюдений, далеко удаленных друг от друга по времени, не может доставить чисел, свободных от посторонних, изменчивых влияний, а потому желательно собрать данные в наблюдениях, нарочито приноровленных к определению перемен декремента с нагрузкою. Чтобы определять перемены D_{15} при перемене p, наиболее удобны весы, поднимающие большие грузы, потому что у них вес коромысла и чашек $(P-2p)$ обыкновенно меньше веса наибольшей нагрузки каждой чашки (p), чего никогда не бывает в весах, поднимающих малые грузы. Таких весов много в Главной палате. Из них при выверке (для местных проверочных учреждений)

гирь в 1 и 2 пуда (16.38 и 32.76 кг) чаще всего применяются в Главной палате весы Колло, снабженные арретировкою, действующею с расстояния в 3.5 м, где помещается и отсчетная труба. Из данных, собранных на этих весах А. Н. Доброхотовым при выверке гирь и дополненных некоторыми попутными наблюдениями, получился следующий предварительный вывод:[1]

	P в граммах	k в миллиграммах	r[3] div.	D_r
Одно коромысло без чашек[2] .	14640	—	7.23	1.0253
На каждой чашке груз $p=0$.	29879	—	8.25	1.0433
» » » » 10 фунтов	38069	10.9	3.61	1.0351
» » » » 20 »	46259	17.0	1.83	1.0307
» » » » 1 пуд .	62340	32.2	1.86	1.0204
» » » » 2 пуда .	95401	77.0	2.42	1.0159

Здесь так отчетливо выступило уменьшение D с возрастанием нагрузки чашек, что мне казалось полезным произвести более полные наблюдения над колебаниями весов Колло,[4] что и было произведено (в апреле 1898 г.) К. Н. Егоровым и В. А. Мюллером. Большого числа размахов, однако, нельзя было наблюдать на весах Колло (вследствие быстрого уменьшения размахов), а потому записывалось по 12 элонгаций, но наблюдения повторялись по 5 раз. Из суммы каждых 4 элонгаций по «сокращенному» способу выводился свой декремент (следовательно всего три из каждого ряда наблюдений), который и приведен в прилагаемой таблице, смысл и обозначения которой ясны по прежним примерам. Времена отмечались секундомерными ручными часами от $n=1.5$ до $n=10.5$, что и дает время одного размаха t, приведенное в таблице [14] для каждого наблюдения.

[1] Данные, взятые для расчета, совокуплены в журнале взвешиваний под n° 1020. Большинство данных случайно, и размахи малы, а потому не считаю необходимым приводить самые наблюдения.

[2] Условия колебания одного коромысла — без подвесок и чашек — иные, чем при нагрузке, а потому рассматриваются не здесь, а в одном из следующих параграфов.

[3] Средняя величина отклонения или полуразмаха r получалась каждый раз из 18—23 взвешиваний, при которых записывалось по 4 элонгации.

[4] Для этих наблюдений прежняя шкала весов заменена новою, с более мелкими делениями, в которых, однако, можно было отсчитывать (в трубу) $^1/_{20}$ div.

Таблица 14

Наблюдения над колебаниями весов Колло, поднимающих до 40 кг на каждой чашке

Наблюдатели: К. Н. Егоров и В. А. Мюллер

Основные данные этих весов: а) вес коромысла (со стрелкою) без чашек 14 640 г; б) вес каждой из двух чашек с подвескою 7619.5 г; в) длина каждого плеча коромысла 586 мм; г) горизонтальная проекция каждой (нижней) чашки 1327 см² и д) 15 div. шкалы = 15 мм = 53.05 мин. дуги

n	n° 1072. Одно коромысло без чашек P=14640 г						n° 1073. Коромысло с чашками p=0					
	наблюденные элонгации l_n					$\Sigma(l)$	наблюденные элонгации $[l_n]$					$\Sigma(l)$
1	51.80	50.15	49.00	50.10	50.05	251.10	50.65	51.10	51.55	52.00	49.45	254.75
2	20.95	22.70	22.70	21.20	19.40	106.95	19.45	20.70	18.90	19.10	18.30	96.45
3	51.00	49.35	48.40	49.35	49.20	247.30	49.15	49.80	49.95	50.60	47.70	247.20
4	21.60	23.40	23.10	21.80	20.10	110.00	20.95	21.95	20.15	20.50	19.05	102.60
5	50.20	48.55	47.85	48.55	48.40	243.55	47.75	48.45	48.70	49.20	46.10	240.20
6	22.15	24.10	23.70	22.20	20.90	113.05	22.20	23.05	21.45	21.80	19.90	108.40
7	49.60	47.90	47.20	47.75	47.75	240.20	46.45	47.30	47.55	48.05	44.55	233.90
8	22.80	24.60	24.20	22.55	21.40	115.55	23.25	24.10	22.55	22.90	20.20	113.00
9	48.95	47.35	46.70	46.95	47.15	237.10	45.40	46.30	46.40	47.00	42.80	227.90
10	23.30	25.10	24.70	22.95	22.00	118.05	24.20	25.00	23.60	23.85	20.55	117.20
11	48.30	46.80	46.15	46.35	46.65	234.25	44.55	45.45	45.50	46.00	41.20	222.70
12	23.95	25.60	25.10	23.35	22.55	120.55	25.10	25.95	24.45	24.85	21.00	121.35
t =	48.92	48.85	48.93	49.08	48.96		55.67	55.63	55.86	55.96	56.46 сек.	
k =	1.05	1.05	1.05	1.00	1.06		3.82	3.77	3.83	3.77	4.21 мг	

n° **1074**. На каждой чашке p=10 фунтам=4095.1 г

[n]						
1	51.85	52.10	47.85	50.60	48.45	250.85
2	17.75	15.65	19.40	16.45	16.70	85.95
3	50.70	50.90	47.00	49.55	47.40	245.55
4	18.80	16.70	20.25	17.45	17.60	90.80
5	49.70	49.80	46.10	48.45	46.55	240.60
6	19.80	17.75	21.05	18.35	18.50	95.45
7	48.60	48.75	45.35	47.55	45.80	236.05
8	20.50	18.60	21.80	19.25	19.35	99.50
9	47.80	47.90	44.75	46.75	45.00	232.20
10	21.35	19.40	22.30	20.05	20.15	103.25
11	46.95	47.05	44.05	45.95	44.35	228.35
12	22.10	20.25	22.95	20.85	20.90	107.05
t=	52.92	53.03	52.92	53.03	52.97	
k=	6.09	6.08	6.08	6.09	5.81	

n° **1076**. На каждой чашке p = 1 пуду = 16380.5 г

[n]						
1	52.55	52.90	52.20	49.95	52.30	259.90
2	21.60	21.35	21.30	23.25	21.00	108.50
3	52.00	52.35	51.75	40.50	51.80	257.40
4	22.10	21.90	21.90	23.65	21.45	111.00
5	51.50	51.80	51.20	49.05	51.30	254.85
6	22.65	22.40	22.25	24.00	22.00	113.30
7	51.00	51.30	50.85	48.60	50.85	252.60
8	23.05	22.80	22.70	24.35	22.40	115.30

n° **1075.** На каждой чашке $p = 20$ фунтам $= 8190.2$ г

50.65	47.20	49.45	49.55	51.90	248.75
18.05	20.55	18.30	18.05	14.80	89.75
49.80	46.55	48.55	48.65	50.85	244.40
18.85	21.20	19.05	18.85	15.75	93.70
48.95	45.90	47.85	47.90	49.95	240.55
19.60	21.80	19.80	19.60	16.55	97.35
48.35	45.20	47.10	47.15	49.05	236.85
20.20	22.30	20.30	20.15	17.30	100.25
47.65	44.80	46.45	46.55	48.25	233.70
20.80	22.90	20.95	20.85	18.05	103.55
47.05	44.15	45.90	45.95	47.55	230.60
21.45	23.30	21.55	21.35	18.75	106.40
49.25	49.22	49.21	49.25	49.33 сек.	
9.11	9.03	9.03	8.95	8.95 мг	

n° **1077.** На каждой чашке $p = 2$ пудам $= 32761.0$ г

51.80	53.35	50.30	50.65	50.55	256.65
20.05	18.20	22.05	21.30	21.65	103.25
51.45	53.00	49.95	50.25	50.15	254.80
20.30	18.65	22.25	21.65	21.90	104.75
51.20	52.70	49.75	50.00	49.95	253.60
20.70	18.95	22.55	21.95	22.15	106.30
50.85	52.30	49.50	49.75	49.75	252.15
20.95	19.25	22.80	22.10	22.40	107.50

[*Продолжение*]

n	n° 1076. На каждой чашке p=1 пуду=16380.5 г						n° 1077. На каждой чашке p=2 пудам=32761.0 г					
	наблюденные элонгации l_n					$\Sigma(l)$	наблюденные элонгации l_n					$\Sigma(l)$
9	50.50	50.90	50.40	48.30	50.35	250.45	50.65	52.00	49.20	49.55	49.45	250.85
10	23.50	23.25	23.10	24.90	22.85	117.60	21.20	19.60	23.00	22.35	22.70	108.85
11	50.00	50.50	50.00	47.90	50.00	248.40	50.20	51.70	49.00	49.25	49.20	149.35
12	23.95	23.60	23.40	25.05	23.15	119.15	21.40	19.85	23.25	22.65	22.90	210.05
t =	43.48	43.49	43.53	43.49	43.52		35.88	35.95	35.87	35.84	35.87 сек.	
k =	16.29	16.70	17.28	17.43	17.28		38.74	40.97	40.97	40.31	40.31 мг	

Разочтено	n° 1072	n° 1073	n° 1074	n° 1075	n° 1076	n° 1077
На одной чашке p	001	0	4095	8190	16380	32761 г
Общий груз, P	**14640**	**29879**	**38069**	**46259**	**62640**	**95401** »
Из $\Sigma l_1 - \Sigma l_4$: D_1	1.02467	1.04639	1.03229	1.02718	1.01693	1.01111

Из $\Sigma l_5 - \Sigma l_8$: D_2	1.02324	1.04424	1.03103	1.02390	1.01536	1.00912
» $\Sigma l_9 - \Sigma l_{12}$: D_3	1.02327	1.04520	1.03105	1.02368	1.01384	1.00965
Среднее r	12.8	12.8	14.2	14.1	14.0	14.6 div.
D_{15} при $r = 15$ div.[2]	**1.0248**	**1.0459**	**1.0316**	**1.0259**	**1.0172**	**1.0103**
Среднее время размаха, t .	**48.9**	**55.9**	**53.0**	**49.3**	**43.5**	**35.9** сек.
Среднее k	1.06	3.88	6.03	9.01	17.00	40.26 мг
Вес 1 миллилитра воздуха, e	1.212	1.192	1.188	1.188	1.187	1.190 »
Чувствительность $\frac{100}{k}$ . . .	**94.3**	**25.8**	**16.6**	**11.1**	**5.9**	**2.5** div.

[1] Знаком 00 я означил тот случай (здесь не рассматриваемый), когда чашки сняты и колеблется одно коромысло.

[2] Расчет D_{15} производился следующим образом. По Σl находились для D_1, D_2 и D_3 средние полуразмахи r_1, r_2 и r_3, например для п° 1072 $r_1 = 14.06$, $r_2 = 12.74$ и $r_3 = 11.63$. Чтобы сгладить последние следы погрешностей наблюдения, бралось среднее из двух первых и двух последних r и D. Так, для п° 1072 получилось: $D = 1.02395$ при $r = 13.40$ и $D = 1.02325$ при $r = 12.18$. А отсюда по равенству $D = d + \alpha r$ получилось: $d = 1.01630$ и $\alpha = 0.00057$, что и дает $D_{15} = 1.01630 + 15\ \alpha = 1.02485$. Правильная отчетливость наблюдений видна из того, что такой расчет, основанный на началах выше приведенных, всегда приводит здесь к результату, допустимому по всей совокупности данных. По причине этой отчетливости наблюдений г.г. Егорова и Мюллера я и привел их во всей полноте.

Стройная правильность полученных здесь результатов зависит не только от того, что наблюдения следовали друг за другом, т. е. условия были, по возможности, сохранены, но и потому, что нагрузки очень велики и много могут превосходить вес коромысла и чашек. При дальнейшем разборе данных необходимо исключить (пока) ряд наблюдений под n° 1072, потому что тогда колебалось одно коромысло без чашек, а следовательно, трение было только на одной средней призме, в остальных же наблюдениях оно действовало на 3 призмах, что и сказалось как в D, так и в t.

Для весов Колло время 1 размаха t с увеличением нагрузки уменьшается, как уменьшается и чувствительность (реципрок k), но не в одинаковой мере: t медленно (как в весах Неметца — возрастает), а $\frac{100}{k}$ — быстро, а именно близко к таким выражениям:

$$t = 55.1\,(1 - 5.4 \cdot 10^{-6}\,x) \text{ и } \frac{\partial t}{\partial x} = -297.5 \cdot 10^{-6},$$

$$\frac{100}{k} = 25.2\,(1 - 31.7 \cdot 10^{-6}\,x + 238 \cdot 10^{-12}\,x^2)$$

и

$$\frac{\partial\left(\frac{100}{k}\right)}{\partial x} = -798.8 \cdot 10^{-6} + 11995 \cdot 10^{-12}\,x,$$

где $x = P(\text{г}) - 29879(\text{г})$[1] и изменяется от 0 до 65520 г, или от 0 до 4 пудов.

Декремент D_{15} для весов Колло также падает с возрастанием нагрузки (x или $2p$) и — как оказывается из опыта — это *можно выразить* в первом приближении *гиперболою с асимптотою* $= 1$:[2]

$$D_{15} = 1 + \frac{1}{21.297 + 9.386\,x}, \qquad \text{(A)}$$

---

[1] Очевидно, что $x = 2p$, или нагрузке на обе чашки весов.

[2] Это значит, что для весов Колло при бесконечно большой нагрузке каждой чашки (если бы это можно было воспроизвести, не нарушая упругих изменений весов) предполагается $D_{15} = 1$, т. е. тогда инерция большой колеблющейся массы была бы беспредельно больше трения и других сопротивлений и $D = 1$.

где

$$x = \frac{P\,(\text{г}) - 29879\,(\text{г})}{8190\,(\text{г})} = \frac{2p\,(\text{ф.})}{20\,(\text{ф.})} = \frac{p\,(\text{ф.})}{10}\,.$$

P	29879	38069	46259	62640	95402
$x = P$ (ф.)/10	0	1	2	4	8
D_{15} по наблюдению . . .	1.0459	1.0316	1.0259	1.0172	1.0103
D_{15} по гиперболе	1.0469	1.0326	1.0250	1.0170	1.0104

Разность в среднем едва ли превосходит погрешности, возможные в наблюдениях и расчетах, тем более, что на разность e величины D_{15} не исправлены.

Разнообразие следствий, которые можно извлечь из наблюдений, подобных изложенным выше, особенно же то, что в одних весах (весы Рупрехта на 1 кг) D и t возрастают вместе с увеличением P, а в других (весы Колло) убывают — заставляет желать еще дальнейшего накопления систематических данных для других весов в отношении к зависимости D и t от P, чтобы выяснить замечаемые здесь явления. Прежде всего мне желательно было собрать данные по отношению к весам, наиболее близким к обыкновенным, применяемым в торговле. Для этой цели были взяты сравнительно простые,[1] но хорошо выполненные, весы г-на Горячева, поднимающие до 2 пудов, до 10 фунтов и до 1 фунта и назначаемые для местных поверочных учреждений. При выверке таких весов А. Н. Доброхотов собрал довольно большой ряд попутных наблюдений, давших следующие выводы:

Весы Горячева, поднимающие	Нагрузка на каждую чашку	Весь груз P, в граммах	Среднее время 1 размаха t, в секундах	Среднее r (div.)	Среднее D
2 пуда . .	1 пуд . .	44465	23.9	8.8	1.0413
10 фунтов .	10 фунтов .	10621	13.3	6.5	1.0048
1 фунт . .	1 фунт . .	1063	8.4	3.4	1.0166

Эти побочные наблюдения показывают, что и в весах малой чувствительности и более простого устройства при

[1] Без арретировки и без шкафа, с чашками на крючках и цепях. Чувствительность видна из того, что 1 div. шкалы, или $k = 303$ мг для весов в 2 пуда, $k = 93$ мг для весов, поднимающих 10 фунтов, а для фунтовых $k = 26$ мг. При более подробном исследовании первых из этих весов шкала заменена более мелкою, указатель взят тонкий и отсчет делался трубою.

простейшем способе отсчета декремент определяется легко и имеет величину того же порядка, как в сложных и очень чувствительных весах. По этой причине были произведены систематические наблюдения над весами г-на Горячева, поднимающими до 2 пудов, что и сделано в мае 1898 г. служащими в Главной палате г-жами О. Э. Озаровскою и Е. Ф. Эндимионовою.

Табл

Колебания весов Горячева, под

(Наблюдатели: О. Э. Озаровская

Основные данные этих весов: а) вес стального коромысла со стрелкою 411.5 мм; т) горизонтальная проекция каждой чашки $q = 1241$ см^2; д) 15

n	n° 1101 [1] $p = 0$			n° 1105 $p = 10$ фунтов		
1	223.4	222.95	224.1	226.35	225.75	225.3
2	187.7	187.8	187.25	183.65	184.15	184.8
3	222.25	221.95	222.85	225.4	224.85	224.35
4	188.5	188.90	188.35	184.40	185.15	185.45
5	221.25	221.85	221.3	224.50	223.8	223.5
6	189.7	189.8	189.6	185.50	186.1	186.45
7	220.2	220.0	220.45	223.75	223.05	222.65
8	190.9	190.75	190.5	186.25	186.90	187.35
9	219.15	119.15	219.25	222.65	222.3	221.6
10	291.7	291.8	191.4	187.2	187.6	188.25
11	218.2	218.5	218.35	221.8	221.65	220.8
12	192.5	192.45	192.6	187.95	188.25	189.1
$P =$		**11704**			**19895**	
$D_{15} =$		**1.0320**			**1.0232**	
Среднее $t =$		**10.9**			**15.6**	
$k =$		113.8			111.0	
$e =$		1.200			1.190	

Отсюда получается в среднем:

$p/1000 = x =$	0	1	2
Общий вес $P =$	1364.7	3364.7	5364.7 г
1 div. $= k =$	0.302	0.450	0.655 г
Время 1 размаха $t =$	21.08	31.76	34.78 сек.
Декремент $D_{15} =$	1.0205	1.0224	1.0260

[1] Сперва наблюдение колебания пустых чашек дало $D_{15} = 1.0371$, и наблюдательницы сочли необходимым повторить все вновь, причем и получены, при всех возможных предосторожностях, числа, приведенные в таблице. По условиям, в которых находятся весы, для них следует ждать в D погрешности до ± 0.0060, даже и более.

Наблюдения велись в особой комнате (при запертых дверях), но весы не были окружены особым шкафом, чтобы оставить их в обычных для них условиях взвешивания. Только обычная шкала и указатель заменены более тонкими и отсчет элонгаций производился издали (3 м), чтобы придать наблюдениям отчетливость и по возможности устранить влияние наблюдателей и движений воздуха.[1] Данные, полученные при этих наблюдениях и при их расчете, помещены в табл. 15.

ица 15

нимающих до 2 пудов

и Е. Ф. Эндимионова)

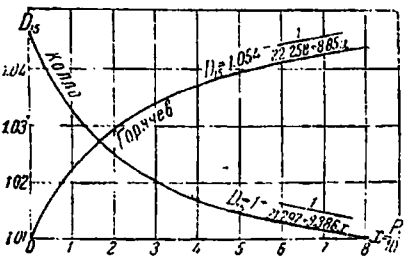
5787.1 г; б) вес каждой чашки 2958.2 г; в) длина каждого плеча коромысла div. шкалы = 15 мм = 199.5 мин. дуги. (D_{15} разочтен так же, как в табл. 14)

№ 1100 $p = 20$ фунтов			№ 1102 $p = 40$ фунтов			№ 1103 $p = 80$ фунтов		
219.2	220.8	219.8	224.35	225.05	223.3	221.60	226	225.35
178.15	177	177.90	186.50	185.90	187.55	189.20	185.2	186.05
218.2	219.5	218.75	223.15	223.80	222.1	220.45	224.75	224
179.3	178.1	178.9	187.65	187.1	188.65	190.65	186.20	187.2
217.2	218	217.8	221.95	222.7	221.1	219.20	223.35	222.75
180	179.2	179.8	188.80	188.1	189.85	191.80	188	188.6
261.1	217	216.75	220.9	221.5	219.90	218.01	221.95	221.3
181	180.55	180.7	189.95	189.2	190.9	193.0	189.2	189.9
215.2	215.95	215.65	219.65	220.3	218.85	216.95	220.8	220.15
182.1	181.35	181.7	191.10	190.4	191.85	194.1	190.35	191
214.45	215	214.75	218.55	219.35	217.80	215.65	219.5	219
182.9	182.5	182.65	192.15	191.40	192.80	195.15	191.7	192.1
28085 г			**44465**			**77226** г		
1.0293			**1.0371**			**1.0437**		
13.2 сек.			**23.7**			**25.7** сек.		
103.7 мг			120.2			175.8 мг		
1.219 »			1.197			1.195 »		

Хотя по самому условию наблюдений здесь нельзя ждать такой степени точности, какая возможна в весах, помещенных в отдельном, замкнутом шкафе и снабженных арретировочным прибором, тем не менее, благодаря тщательности наблюдательниц, числа, полученные для декрементов, несомненно показывают, по крайней мере, для нагрузок от 10

[1] Тем не менее, на основании наблюдений № 866 (стр. 442), должно думать, что отсутствие шкафа влияло на точность отсчетов и производило «пертурбации», тем более явные, чем меньше был вес нагрузки.

до 80 фунтов, что испытанные *весы Горячева*, подобно весам Рупрехта (§ 20), *дают декремент, возрастающий с нагрузкою*. Это возрастание может быть, повидимому, опять выражено, в первом приближении, гиперболою (как видно по прилагаемому чертежу [черт. 6]), но здесь должно принять асимптоту, отвечающую бесконечно большой нагрузке, не за единицу, как для весов Колло, а за некоторое предельное значение D_{15}, а именно близкое к 1.055.



Черт. 6. Гиперболы, выражающие изменение декремента D_{15} (отложены по ординатам) в зависимости от перемены нагрузки каждой чашки p (отложены по абсциссам), для весов Колло и Горячева.

Чтобы еще более разъяснить те особенности, которые представились при изучении зависимости D и t от перемены нагрузки p, взяты были **весы Эртлинга**, давно (с начала 70-х годов) применяемые в Главной палате для выверки гирь весом до 2 кг. В этих весах, шкаф, которых огражден особыми защитами от влияния близости наблюдателей, отсчет ведется в микроскоп по мелкой шкале, укрепленной на конце стрелки.

Эти данные, в пределе возможных погрешностей, опять (как в весах Колло) могут быть выражены гиперболой, с асимптотою $=1$, хотя здесь с возрастанием p декремент возрастает, а в весах Колло — падает:

$$D_{15} = 1 + \frac{1}{48.8 - 5.1\,x},$$

так как по этой формуле

при	$x=$	0	1	2
получается	$D_{15}=$	1.0205	1.0229	1.0259,

что недалеко от наблюдения.

Неожиданное разнообразие в результатах, полученных на разных весах для зависимости D и t от нагрузки, связь этих явлений с мало исследованным трением ножей и гиперболическая зависимость D от P — заставляют, во-первых, воздержаться от окончательных заключений, и, во-вторых, умножить число и разнообразие данных. Для этой последней

Таблица 16

Колебания весов Эртлинга, поднимающих до 2 кг

(Наблюдатели: О. Э. Озаровская и Е. Ф. Эндимионова, май 1898 г.)

Основные данные этих весов: а) вес коромысла 763.84 г; б) вес каждой чашки с подвесками 294.29 г; в) длина каждого плеча коромысла 250 мм; г) горизонтальная проекция каждой чашки $q = 105.3$ см^2; д) 15 div. шкалы $=$ $= 3.6$ мм $= 34.8$ мин. дуги круга. (Расчет D_{15} веден, как указано ранее)

n	№ 1232. Чашки пустые $p = 0$					№ 1233. На каждой чашке $p = 1000$ г					№ 1234. На каждой чашке $p = 2000$ г				
1	65.0	63.45	65.85	76.1	56.0	68.60	66.2	58.7	64.6	61.95	59.9	58.45	61.40	57.80	71.95
2	27.9	31.65	26.2	18.05	35.5	19.75	21.1	29.0	23.75	26.0	35.95	36.4	32.55	36.1	22.40
3	64.3	62.80	64.8	74.85	55.4	67.15	65.05	57.9	63.25	60.95	59.25	58.0	60.8	57.15	70.75
4	28.5	32.25	27.2	19.3	36.0	20.95	22.2	29.6	24.75	26.95	36.3	37.0	33.1	36.7	23.5
5	63.7	62.0	63.8	73.5	55.15	66.0	64.0	57.0	62.3	60.05	58.85	57.4	60.15	56.8	69.55
6	29.2	32.9	28.0	20.4	36.25	22.0	23.2	30.25	25.5	27.75	36.9	37.3	33.75	37.0	24.55
7	63.0	61.4	63.0	72.25	54.8	64.85	63.0	56.45	61.5	59.25	58.35	57.0	59.65	56.25	68.5
8	29.9	33.6	28.85	21.50	36.75	23.0	24.6	30.9	26.15	28.4	37.25	37.8	34.15	37.4	25.45
9	62.2	60.85	62.2	71.2	54.3	63.9	62.0	55.9	60.8	58.6	57.95	56.75	59.1	56.0	67.6
10	30.4	34.1	29.45	22.55	37.05	23.95	25.2	31.35	27.0	29.05	37.75	38.15	34.75	37.9	26.3
11	61.6	60.25	61.75	70.05	54.0	62.95	61.05	55.3	60.0	57.95	57.55	56.25	58.65	55.6	66.8
12	30.90	34.7	30.15	23.55	37.3	24.8	26.0	31.9	27.8	29.7	38.0	38.45	35.05	38.15	27.05
$t =$	20.99	21.01	21.14	21.32	20.93	31.91	31.87	31.58	31.80	31.63	34.79	34.73	34.81	34.71	34.88 сек.
$k =$	0.2961	0.2874	0.3068	0.3172	0.3012	0.4415	0.4630	0.4540	0.4434	0.4505	0.6667	0.6536	0.6452	0.6505	0.6602 мг
$e =$	1.189					1.188					1.184				мг

цели в Главной палате уже начаты некоторые опыты, но они еще далеки от окончания и составят предмет особой статьи во «Временнике» Главной палаты.

§ 22. *Влияние чувствительности* $\left(\frac{1}{k}\right)$ *весов на декремент их колебаний.* При прочих равных обстоятельствах декремент несомненно и значительно изменяется с переменою k, т. е. числа миллиграммов, отвечающих 1 делению шкалы. Но так как k (а следовательно и $\frac{1}{k}$, т. е. чувствительность) изменяется не только по воле наблюдателя от перемены положения гайки, которою снабжаются весы для изменения чувствительности, но и — помимо воли — от гнутия (и увеличения трения), производимого нагрузкою, и от перемены температуры (так как все это перемещает центр тяжести системы), то зависимость сложна, и наши наблюдения, нарочно для сего, однако, не направлявшиеся, могут только отчасти разъяснить многие, встречающиеся здесь случаи, а потому я остановлюсь в этом параграфе исключительно на тех случаях, когда наблюдения производились около того времени, когда чувствительность весов искусственно — по воле наблюдателя — изменялась при помощи того груза, закрепленного на коромысле (обыкновенно — гайки на вертикальном винте, прикрепленном в середине поверх коромысла), перемещение которого служит специально для перемещения центра тяжести коромысла, т. е. для изменения чувствительности весов. Если наблюдения — до и после перестановки гайки — производились в дни, близкие между собою и при тех же навесках, то все перемены в D и t, при этом замечаемые, можно было приписывать исключительно изменению чувствительности или перемене k, так как большое температурное постоянство (особенно зимою) нашей весовой комнаты дает уверенность в отсутствии других крупных влияний.[1] В этом смысле мы ограничимся систематическими наблюдениями, произведенными на весах

[1] По указанным причинам я не считаю надобным останавливаться здесь над обычными наблюдениями с весами Рупрехта и Неметца, поднимающими до 1 кг, когда гайка перемещалась, а груз был тот же, так как на них k очень редко менялось перестановкою гайки, и не все прочие влияния были тождественны. Притом часть этих наблюдений сообщена в иных местах, например на стр. 443 и т. п., и относится к числу предварительных или случайных наблюдений. Многие данные для этого разочтены, но я их не привожу, вследствие их недостаточной отчетливости.

Колло, поднимающих до 40 кг. Отрывочные данные имеются также для других весов.

Для того чтобы сделать сличения удобными, сопоставляем при данной нагрузке выводы для k, t и D в трех положениях гайки: I — низшем (B, табл. 17), II — нормальном (табл. 14) и III — высшем (A, табл. 17):

Навеска p	0 (чашка без навески)			1 пуд			2 пуда		
положение гайки	I	II	III	I	II	III	I	II	III
k =	5.0	3.9	1.3	18.0	17.0	14.7	45.4	40.3	41.0 мг[1]
t =	49	56	92	42	44	47	35	36	37 сек.
D_{15} =	1.039	1.046	1.061	1.014	1.017	1.018	1.010	1.010	1.009

Отсюда видно, что при определенной навеске p, *для весов Колло* (как и для других весов, исследованных в Главной палате): 1) *время* t одного *размаха с возрастанием чувствительности* ($1/k$, или с уменьшением k) — *возрастает*,[2] т. е. весы, как давно известно, тем медленнее колеблются,

---

[1] Если в n° 1128 (табл. 17) изъять одно исключительное наблюдение (4-е), давшее 46.21 мг, то получится среднее $k = 39.7$ мг, и тогда получится и при нагрузке в 2 пуда правильная последовательность в увеличении чувствительности (или в уменьшении k) — с приближением центра тяжести к точке опоры. Но при больших нагрузках, как и можно ожидать, перемены в k, t и D, производимые перемещением небольшой гайки, уже действуют очень слабо.

[2] Это вовсе не связано с тем, что в весах есть 3 ножа (призмы) и 2 боковых маятника в виде чашек с их подвесками, как можно видеть из того, что получилось в n° 1072 (табл. 14) и n° 1129 (B, табл. 18), когда чашка и подвески были сняты, причем:

Положение гайки	I (табл. 17)	II (табл. 14)
k =	2.3	1.1 мг
t =	35	49 сек.
D =	1.015	1.025.

Предполагая еще подробнее расследовать весы Колло, я не считаю возможным входить здесь в объяснение некоторых неожиданных особенностей, ими представляемых, замечу только, что они много удлинили нашу работу.

Таблица 17

Дополнительные (к табл. 14) наблюдения над колебаниями весов Колло

(Наблюдатели: О. Э. Озаровская, Е. Ф. Эндимионова, К. Н. Егоров и В. А. Мюллер)

А) *Гайка*, определяющая чувствительность, *повышена*

n	n° 1126. Без груза на чашках					n° 1127. На каждой чашке 1 пуд					n° 1128. На каждой чашке 2 пуда					Σl
1	51.00	55.65	48.65	57.20	55.20	46.80	48.10	49.75	49.05	44.70	52.65	53.3	51.2	52.05	48.7	257.9
2	19.20	25.55	32.75	35.10	31.75	16.30	17.95	12.95	14.40	17.15	13.65	13.15	12.5	15.15	16.4	70.85
3	48.25	53.35	47.75	55.20	53.30	46.15	47.70	48.95	48.30	44.2	52.25	53.00	50.85	51.9	48.2	256.2
4	21.25	27.80	33.95	36.95	33.30	16.85	18.40	13.60	14.95	17.5	14.1	13.65	12.95	15.75	16.8	73.25
5	46.15	51.45	46.80	53.90	51.70	45.70	47.10	48.20	47.80	43.8	51.75	52.70	50.25	51.45	48.1	254.25
6	23.60	29.45	35.00	37.95	34.80	17.40	18.95	14.10	15.45	18.05	14.45	13.95	13.40	16.1	17.0	74.90
7	44.55	49.95	45.80	52.90	50.45	45.20	46.70	47.75	47.15	43.25	51.4	52.05	50.05	51.25	47.75	252.50
8	25.00	31.05	35.70	38.95	35.80	17.90	19.45	14.65	15.95	18.35	14.9	14.35	13.80	16.15	17.25	76.45
9	43.05	48.40	45.15	51.90	49.50	44.80	46.10	47.20	46.75	43.05	51.1	51.90	49.75	50.95	47.45	251.15
10	26.30	32.25	36.30	39.95	36.75	18.25	19.85	15.15	16.40	18.8	15.1	14.90	13.95	16.75	17.50	78.2
11	41.80	47.20	44.45	51.00	48.60	44.45	45.80	46.65	46.10	42.8	50.65	51.5	49.40	50.45	47.2	249.2
12	27.35	33.30	36.90	40.40	37.55	18.75	20.25	15.55	16.95	19.05	15.6	15.0	14.30	17.0	17.9	79.80
$t=$	92.44	92.43	90.58	91.6	91.8	47.12	47.20		47.20	47.23	25.09	25.07	25.07	25.05	25.04 сек.	
$k=$	1.29	1.28	1.23	1.23	1.25	14.19	15.28	13.99	14.19	15.77	38.21	41.01	41.40	46.21	38.21 мг	

В) *Гайка*, определяющая чувствительность, *понижена*

n	n° 1129. Коромысло без чашек					Σl	n° 1130. Без груза на чашках					Σl
1	49.1	43.05	44.2	45.55	47.0	228.90	46.45	45.8	45.85	49.8	48.75	236.65
2	9.15	16.55	16.0	14.5	12.15	68.35	24.8	24.2	26.05	26.0	24.1	125.15

3	48.5	42.75	43.75	45	46.45	226.45	45.75	45.15	45.1	49.05	48	233.05
4	9.8	16.95	16.3	14.95	12.75	70.75	25.6	24.95	26.8	26.8	25	129.15
5	47.95	42.5	43.2	44.75	45.95	224.35	45	44.6	44.6	48.2	47.25	229.65
6	10.25	17.15	16.85	15.2	13.15	72.6	26.15	25.55	27.3	27.45	25.65	132.1
7	47.5	41.95	42.90	44.2	45.4	221.95	44.3	43.95	43.95	47.50	46.6	226.3
8	10.7	17.55	17.1	15.8	13.60	74.75	26.75	26.15	27.95	28.15	26.2	135.2
9	47.0	41.55	42.6	43.8	45.0	219.95	43.9	43.2	43.45	46.95	45.95	223.45
10	11.15	17.9	17.45	16.1	14.0	76.60	27.1	26.8	28.4	28.75	26.95	138.0
11	46.4	41.2	42.1	43.3	44.6	217.60	43.2	42.85	43	46.25	45.35	220.65
12	11.7	18.05	17.80	16.50	14.4	78.45	27.8	27.25	28.8	29.35	27.5	140.7
$t =$	34.93	34.73	34.81	34.85	34.92		49.03	49.06	49.06	49.16	49.13 сек.	
$k =$	2.19	2.32	2.32	2.27	2.27		5.02	4.97	5.16	4.91	4.91 мг	

n	№ 1131. На каждой чашке 1 пуд груза					Σl	№ 1132. На каждой чашке 2 пуда груза					Σl
1	47.9	50	52.4	52.9	48.6	251.8	53.4	49.05	53	50.2	52.05	257.70
2	17.4	16.9	12.4	11.1	15.9	73.7	12.4	17.15	10.8	13.6	11.9	65.85
3	47.4	49.75	51.85	52.1	48.0	249.1	52.9	48.75	52.8	50.0	51.8	256.25
4	17.9	17.25	12.9	11.8	16.30	76.15	12.9	17.4	11.1	14.0	12.1	67.5
5	46.9	49.05	51.25	51.5	47.45	246.15	52.5	48.3	52.2	49.65	51.2	253.85
6	18.25	17.8	13.6	12.2	16.85	78.7	13.2	17.85	11.3	14.35	12.55	69.25
7	46.5	48.75	50.70	51	47.05	244.0	52.05	48.05	51.95	49.2	50.9	252.15

n	n° 1131. На каждой чашке 1 пуд груза					Σt	n° 1132. На каждой чашке 2 пуда груза					Σt
8	18.75	18.2	14.1	12.8	17.2	81.05	13.8	18.0	11.95	14.8	12.9	71.45
9	46.15	48.3	50.15	50.45	46.65	241.7	51.8	47.75	51.5	48.9	50.6	250.55
10	19.05	18.6	14.6	13.25	17.7	83.2	14	18.35	12.1	15.0	13.2	72.65
11	45.75	47.8	49.75	49.95	46.15	239.4	51.3	47.45	51.1	48.50	50.1	248.45
12	19.25	19	15.0	13.9	18.0	85.15	14.2	18.65	12.5	15.25	13.5	71.1
$t=$	42.18	42.26	42.25	42.25	42.18		35.43	35.37	35.42	35.42	35.43 сек.	
$k=$	17.13	18.40	18.75	17.74	18.00		41.40	47.3	43.20	49.67	45.40 мг	

Весы Колло	Гайка повышена			Гайка понижена			
	n° 1126	1127	1128	1129	1130	1131	1132
Груз одной чашки, p .	0	16380	32761	00	0	16380	32761 г
Общий вес, P	29879	62640	95401	14640	29879	62640	95401 »
Вес 1 мл воздуха, e . .	1.197	1.197	1.198	1.199	1.205	1.199	1.199 мг
1 div. шкалы, k	1.26	14.68	41.01	2.27	4.99	18.0	45.4 »
Среднее время размаха, t	**91.8**	**47.2**	**37.0**	**34.8**	**49.1**	**42.2**	**35.4** сек.
Декремент, D_{15}	**1.0607**	**1.0175**	**1.0091**	**1.0153**	**1.0393**	**1.0136**	**1.0100**

чем они чувствительнее, но так как возрастание чувствительности весов отвечает уменьшению расстояния центра тяжести от точки опоры, а в математическом маятнике — от увеличения этого расстояния, то и очевидно, что весы подчиняются усложнениям, представляющимся в физических (сложных) маятниках. 2) *Декремент D с возрастанием чувствительности* (с уменьшением k)[1] *также возрастает*,[2] как это замечается и в очень чувствительных весах Рупрехта и Неметца, поднимающих до 1 кг (например стр. 441 и 445 и др.). Таким образом единовременное возрастание $1/k$, t и D не подлежало бы дальнейшему разбору, но желательно было выяснить хотя на одном примере эмпирическую зависимость трех указанных величин. Для этого избраны были весы Рупрехта, поднимающие до 75 кг, но отчет об опытных с ними исследованиях, как объяснено в предшествующем параграфе, отлагается до особой статьи во «Временнике» Главной палаты, потому что наблюдения не закончены.

§ 23. **Влияние газообразной среды на колебания весов.** Ни в одной части учения о физическом маятнике не явилось столь много теоретических и опытных исследований, как в вопросе о приведении к пустоте длины секундного маятника, или, лучше сказать, числа его колебаний в определенное время (обыкновенно в продолжение «средних» суток). Об этой поправке «на пустоту» с почина Ньютона явилась целая масса мемуаров первоклассней ших ученых, которые собраны C. Wolf'ом (1889) в IV и V томах «Collection de Mémoires relatifs à la Physique» (издаваемых французским Физическим обществом), что позволяет избежать изложения сложных исторических подробностей,[3] касающихся влияния среды на колебания маятника, т. е. преимущественно на времена размахов.

---

[1] Это справедливо и при снятии чашек, как видно по предшествующей выноске.

[2] Известно, что в физическом маятнике, при прочих равных условиях (масса, момент инерции и сопротивления), времена качаний тем больше, чем меньше расстояние центра тяжести от точки опоры, а оно определяет k. Здесь, в первом грубом приближении, можно принять, что $(D-1)\sqrt{k}=0.063$, что хорошо для $p=1$ и 2 пудам, но при $p=0$ величина $(D-1)\sqrt{k}$ близка к 0.083.

[3] Ньютон, наблюдая колебания маятника в воздухе и воде, обратил внимание только на убыль размахов и приписал существующее при этом замедление времен потере в ускорении, зависящей от потери веса. Du Buat (1786) из подобных же опытов, изменяя вес, объем и форму тяжелой части маятника, вывел, что вместе с твердым телом колеблется и некоторая часть жидкости (воды или воздуха), количество которой

Если такая сложность существует в отношении к влиянию среды на колебания маятника, то тем паче того же должно было ждать в отношении к весам. Тем не менее я решился произвести ряд опытов с весами, надеясь хотя бы немного уяснить следующие три стороны предмета:

1) Как изменяются, при постоянной (обыкновенной) температуре для весов, D и t с переменою плотности среды, т. е. воздуха (от уменьшения давления), от обыкновенной, близкой к $e = 1.2$ (вес миллилитра в миллиграммах), до $e = 0.1$, когда, по всем существующим сведениям (Максвель, Кундт и др.), внутреннее трение воздуха сохраняется?[1]

2) Как изменяется D и t для весов при изменении внутреннего трения среды? Для этой цели (при обыкновенной

определяется объемом и формою тела маятника, а это заставляет увеличивать ньютонову поправку «на пустоту». Бессель (1826), не зная того, что нашел Дюбюа, произвел опыты в воздухе и в воде с маятниками разной плотности и формы и обратил все свое внимание исключительно на времена колебаний, причем пришел также к заключению о необходимости увеличить ньютоновскую поправку «на пустоту», считая, что частицы среды изменяют момент инерции маятника. Sebine (1829), а потом Baily (1832) прямо из опыта, считая число колебаний маятника в обыкновенном воздухе и затем в разреженном (до давления 25—300 мм), нашли поправку «на пустоту» и подтвердили необходимость увеличить ньютоновскую поправку и изменять ее в зависимости от формы маятника. Poisson (1831) расчел, что истинная «поправка» должна относиться к ньютоновской, как 1.5 к 1, а Challis (1833) — как 2 : 1, исходя из определенных гипотез об участии газов в движении маятника. Дело это вслед за тем, повидимому, вполне уяснилось, когда Stokes (1850) приложил к расчету понятие о внутреннем трении газов и согласовал определения Baily и других со своими расчетами для шаровой и цилиндрической формы маятника, приписав все наблюденное замедление исключительно среде. Но так как трение ножей (призм) и округлая форма их острия (Лаплас, Бессель) оказывают свое влияние на время колебаний и так как, по Максвелю, внутреннее трение не зависит от давления (что подтверждают опыты до давлений еще меньших, чем у Себейна и Бэли), то очевидно, что дело остается и поныне сильно запутанным, хотя не подлежит сомнению, что Stokes первый (а за ним O. Meyer, 1871) пошел по пути, наиболее обещающему в разрешении сложнейшего вопроса о влиянии среды на движение маятника, тем более, что связал изменение времени с изменением амплитуд (т. е. с декрементом). Незаконченность вопроса, по моему мнению, зависит от того, во-первых, что еще и ныне часто считают времена зависящими исключительно от квадратного корня длины синхронического простого маятника и не зависящими от сопротивлений; во-вторых, от того, что вовсе не принимают во внимание трения ножей, когда изучают времена колебаний; в-третьих, от того, что обыкновенно D и t изучают порознь, и, в-четвертых, от того, что во всей теории сопротивлений еще нет надлежащей ясности или твердых исходных положений.

[1] Опыты с колебанием весов в воде и других жидкостях хотя давно мною намечены, но за множеством других дел еще не могли быть выполнены, тем более, что для этого следует построить совершенно новый прибор.

температуре) представляется единственно удобное средство, а именно замена воздуха водородом, так как коэффициент внутреннего трения μ для него почти в 2 раза менее, чем для воздуха (при 15° по Кундту и Варбургу, для него $\mu = 0.000179$, а для водорода $\mu = 0.000092$ г/см сек.).

3) Как изменяются D и t при перемене объема и формы (особенно горизонтальной проекции) взвешиваемых предметов?

Опытною постановкою таких вопросов, сверх всего прочего, я полагаю возможным содействовать выяснению некоторых, еще спорных, сведений, относящихся к маятникам, особенно если иметь в виду не только декременты, но и времена размахов.

В этом параграфе приводятся данные, касающиеся изменения самой среды, а в следующем — относящиеся до влияния формы, но я не считаю накопленные данные сколько-либо исчерпывающими указанные вопросы, и привожу их исключительно потому, что в литературе, касающейся весов, не нашел никаких для них ответов.

Изменение плотности воздуха при перемене давления происходит естественно при изменении барометра, но при этом всегда более или менее изменяется и температура, а эта последняя не только влияет на плотность воздуха (e = весу миллилитра в миллиграммах), но и на чувствительность весов, а так как при ее изменении t и D сильно изменяются, то простое сличение взвешиваний, производимых при различных e, не может дать ясного ответа для выяснения перемены D и t в зависимости от перемены e, тем более, что естественные изменения e сравнительно малы (в Главной палате редко выходят из пределов от 1.22 до 1.18) и небольшие разности в D и t могут впадать в пределы неизбежных *в них* погрешностей, хотя e и определяется каждый раз со всею возможною точностью (примерно до ± 0.001 мг/мл). Поэтому при постановке основных наблюдений (§ 12) уже в число их было включено наблюдение колебаний *весов Неметца* при обыкновенном и при уменьшенном давлениях воздуха. Данные, сюда относящиеся, приведены на стр. 496 и 556. Должно заметить, что во всех наблюдениях навескою служили платино-иридиевые фунты и что положение гайки, определяющей чувствительность, оставалось неизменным, но в k замечены небольшие разности (от 0.053 до 0.055), зависящие, быть может, от перемены температуры, а не плотности среды. Притом здесь следует указать на то, что определение k в приводимых далее наблюдениях произво-

дилось не при каждом наблюдении, а только после трех или четырех, сделанных при одинаковых условиях.

Шесть наблюдений, произведенных в разреженном воздухе на весах Неметца, при нагрузке каждой чашки $p = 607.4$ г и при $k = 0.055$ мг, дали:

n°	921	922	923	926	927	928	Общее среднее
e =	0.230	0.236	0.236	0.106	0.108	0.108	0.171 мг
t_{15}[1] =	30.8	30.5	30.4	30.8	30.4	30.4	30.55 сек.
D_{15} =	1.0319	1.0304	1.0333	1.0274	1.0365	1.0324	1.0320

Четыре наблюдения, произведенные на весах Неметца, в воздухе под обыкновенным давлением, при нагрузке $p = 607.4$ г и при $k = 0.053$ мг, дали:

n°	917	918	929[2]	931	Общее среднее
e =	1.197	1.196	1.210	1.210	1.203 мг
t_{15} =	30.9	31.0	30.4	30.3	30.65 сек.
D_{15} =	1.0362	1.0357	1.0333	1.0336	1.0347

Из этого сопоставления средних результатов[3] видно, что при уменьшении плотности воздуха в 7 раз время размахов осталось — в пределе возможных погрешностей[4] —

[1] Данные опыта для t при наблюдениях n°n° 921—923 и 917—918 приведены на стр. 447 и 448, для прочих же — на стр. 500. Расчет по данным наблюдениям значений t_{15} произведен по приемам, выясненным выше.

[2] Сопоставляя n° 929 с n° 926 (стр. 504 и 506), видим, что первые размахи были очень близки, но убыль размахов при обыкновенном давлении идет скорее, чем при разрежении.

[3] Будет ли то же самое для всех и всяких весов, мне кажется, сказать нельзя — без новых опытов. Дело в том, что весы Неметца (табл. 12 и 13) резко отличаются, например, от весов Рупрехта (табл. 10 и 11) тем, что в первых из них время t мало изменяется при перемене нагрузки (и других условий), тогда как во вторых оно при этом сильно изменяется (зато декремент — мало, а для весов Неметца — сильно изменяется).

[4] Себейн (его опыт 1-й), заставляя качаться оборотный маятник Кетера в воздухе при давлении 29.845 дюйма, получил длительность размаха = 1.00538 сек. (число колебаний в [сутки] $N = 85937.47$), а при давлении 7.08 дюйма (т. е. в 4.2 раза меньшем) = 1.00530 сек., следовательно разность менее $\frac{1}{10000}$. В наших наблюдениях такая часть $t = 0.003$ сек., но точность наших отсчетов времени от этой очень далека, а потому

почти неизменным (хотя небольшое уменьшение — от 30.65 до 30.55 — и оказалось в среднем), т. е. если и существует уменьшение времен, то оно очень мало и его нельзя установить в наших определениях.[1] Что же касается до декремента, то при уменьшении плотности воздуха он, несомненно, уменьшается, так как разность полученных чисел (1.0347 и 1.0320) явно превосходит возможные погрешности, как видно и по сравнению отдельных определений в обеих группах, а также и потому, что п°п° 921—923 дали больший декремент, чем п°п° 926—928, когда e уменьшилось. Притом, если изменение D принять почти пропорциональным перемене e (а именно в данном случае можно приближенно принять: $D_{15} = 1.0316 + 0.0026\, e$), то можно заключать, что в полной пустоте ($e = 0$) и при данных условиях декремент был бы близок к 1.0316.

Вывод этот, однако, можно было бы считать справедливым лишь тогда, когда не существовало бы в газах внутреннего трения, которое, как вывел Максвель, не зависит от давления, что подтверждено затем различными опытными исследованиями, показавшими, что внутреннее трение воздуха, при постоянной температуре, почти постоянно, пока давление не опустится до немногих миллиметров ртутного столба. Если же принять во внимание, что при весе миллилитра воздуха $e = 1.20$ и 0.17 мг внутреннее трение одно и то же (так как отвечает давлениям в 770 и 110 мм), то является возможность сомнения в отношении к экстраполированию — до пустоты, так как при переходе к ней внутреннее трение должно быстро уменьшиться, а это может изменить D и даже t. Испытать это при помощи дальнейшего разрежения воздуха под колоколом весов Неметца я считал невозможным, не только по причине того, что нельзя было надеяться надолго сохранить постоянное очень малое давление в большом приборе,[2] но и потому, что считал опыт этого рода рискованным, ввиду большой ценности весов и необходимости их для других опытов. Сверх того и сведения об изменении μ для воздуха при малых давлениях не полны, хотя, несомненно, показывают быстрое его уменьшение

быть может, весы в разреженном воздухе и качаются быстрее, как показывают и наши опыты, но это нельзя считать известным в точности.

[1] Хотя в общем среднем в разреженном воздухе получилось менее, чем под обыкновенным давлением, но разность (равная 0.10 сек.) меньше возможных ошибок (стр. 500).

[2] Размеры стеклянного колокола весов Неметца (внутри) такие: диаметр нижней цилиндрической части = 50 см, высота от основания до вершины = 75 см. Следовательно, объем около 130 л.

по мере приближения к пустоте, очень же малых давлений (ниже 5 мм) наши насосы не могли достигать в весах Неметца, хоть легко давали разрежение гораздо большее в условиях полной герметичности. Поэтому, чтобы убавить величину μ (коэффициент внутреннего трения), оставалось прибегнуть к водороду, для которого μ при обыкновенном давлении почти в 2 раза менее, чем для воздуха при 760—100 мм.

Колебания весов в атмосфере водорода. Водород приготовлялся действием серной кислоты на очищенный гранулированный цинк. Затем газ очищался пропусканием чрез длинные столбы бус, сильно смачиваемых растворами едкого натра, серносеребряной и азотносвинцовой солей, а далее проходил чрез большой слой бус, смоченных концентрированною серною кислотою. Все соединения были испытаны и каучуки так покрыты клеем, что диффузия воздуха была устранена. Сперва из-под колокола весов был, по возможности, выкачан воздух, потом колокол наполнен до обыкновенного давления водородом, затем этот водород, еще смешанный с воздухом, удален выкачиванием и только после этого произведено было наполнение водородом, притом так, чтобы под колоколом его давление было немного более атмосферного, при начале же наблюдений, открывая на один момент выпускной кран, давление уравнивалось с атмосферным, чтобы знать по термометру (находящемуся под колоколом), манометру и барометру элементы, необходимые для определения веса миллилитра (e) водорода, считая его чистым.[1] Все 4 наблюдения, приведенные в табл. 18, следовали непосредственно друг за другом и произведены В. Д. Сапожниковым и К. Н. Егоровым, которые производили и самое наполнение водородом.

Чтобы определить влияние атмосферы водорода, сопоставляем среднее из этих данных со средним из данных для атмосферы воздуха, когда навеска (фунты меди — прямо на переносных чашках без подставок или чашки с гирями удалены — повертыванием на 90° по азимуту, как в n° 1178), положение гайки, изменяющей чувствительность, и все прочие условия (кроме газовой атмосферы) были те же. Для воздуха взяты данные при обыкновенном давлении (они приведены в дальнейших таблицах).[2]

[1] Следы воздуха в подмеси, конечно, оставались, но в столь малой пропорции, что это не могло влиять на e.

[2] Под центральным ножом в этих, как и во всех иных наблюдениях, кроме особо упомянутых, подушка была агатовая.

Таблица 18

Дополнительные наблюдения на весах Неметца (табл. 12 и 13)
Влияние атмосферы водорода на колебания весов

Наблюдали: В. Д. Сапожников и К. Н. Егоров (5 июня 1898 г.)

(Нагрузка на каждой чашке 1 фунт медный — без особой подставки, или в n° 1178 без нагрузки и без переносной чашки)

n	n° 1175	1176	1177	1178
1	304.7	318.3	315.0	326.0
2	218.2	258.0	266.8	276.2
3	301.1	316.3	313.9	324.3
4	221.7	260.0	268.0	278.0
5	298.35	314.5	312.6	323.0
6	224.3	262.0	269.3	279.3
7	295.8	313.0	311.5	321.85
8	226.8	263.7	270.1	280.0
9	293.75	311.8	310.5	320.8
10	229.05	265.1	271.3	281.9
11	291.8	310.5	309.75	319.75
12	231.0	266.7	272.4	283.0
13	290.0	309.2	308.8	318.8
14	232.8	268.0	272.9	284.0
15	288.4	308.25	308.1	317.9
16	234.3	269.0	273.7	285.0
17	286.9	307.2	307.45	317.0
18	235.8	270.05	274.6	286.0
19	285.6	306.3	306.5	316.25
20	237.25	271.0	275.3	286.6
21	284.4	305.5	305.8	315.4
22	238.4	272.0	276.0	287.4
23	283.2	304.7	305.25	314.95
24	239.7	272.7	276.6	288.0
25	282.2	303.9	304.5	314.0
26	240.75	273.35	277.3	288.8
27	281.15	303.2	304.1	313.6
28	241.7	274.0	277.8	289.4
29	280.25	302.6	303.5	313.25
30	242.6	274.8	278.2	290.00
31	279.4	302.0	303.1	312.65
32	243.65	275.5	278.9	290.5
$n=1.5$, $T=0$ $n=11.5$	$T=308.2$	309.8	309.6	313.0 сек.
$n=21.5$	$T=614.8$	617.6	619.2	624.0 »
$n=31.5$	$T=920.2$	925.0	927.8	934.4 »
p =		516		0 г
P =		2178		1147 »
k =		0.0504		— мг
e =		0.08304		0.08304 »
t_{15} =	30.4	30.7	30.9	31.1 сек.
D_{15} =	1.0207	1.0237	1.0217	1.0267 »

	$p = 516$ г		$v = 0$	
№ № наблюдений	1059—1060 и 1144—1145	1175—1177	1146	1178
Атмосфера	воздух	водород	воздух	водород
Вес литра, e . .	1.229 и 1.211	0.083	1.211	0.083 г
1 div. $= k$. . . .	0.044 и 0.050	0.050	—	— [1] мг
Время размаха t_{15}	32.7 и 30.3	30.7	31.1	31.1 сек.
Декремент D_{15} .	1.031 и 1.034	1.022	1.034	1.027

Отсюда, по отношению к t и D видно, в сущности, то же, что и при разрежении воздуха, а именно: 1) времена размахов или не изменились при замене воздуха водородом или, если убавились, то мало (быть может отчасти под влиянием некоторого изменения k, а не только от перемены внутреннего трения), и 2) декремент при замене воздуха водородом, несомненно, уменьшился, но это изменение явно больше, чем при разрежении воздуха. Так (стр. 606), при уменьшении плотности атмосферного воздуха в 7 раз $D-1$ уменьшилось в $\frac{0.0347}{0.0320}$, или в 1.08 раза; здесь же при уменьшении e в $\frac{1.22}{0.083}$, или в 14.7 раза, $D-1$ уменьшилось в $\frac{0.0325}{0.022}$, т. е. в 1.5 раза. Выше, судя по одной плотности, можно было полагать, что в пустоте D будет $=1.0316$, при данной нагрузке (1 фунт + чашка) и при k около 0.053 мг. Здесь, судя опять только по плотности e, можно вывести, что при той нагрузке и при k около 0.050 мг, декремент в пустоте будет близок к 1.021. Разность результата, очевидно, превосходит пределы погрешностей. Отсюда, так как внутреннее трение водорода гораздо менее, чем воздуха, очевидно следует, что *декремент колебания весов (Неметца), явно уменьшаясь при убыли плотности атмосферы, в еще значительно большей мере убавляется при уменьшении внутреннего трения среды*, μ, и следовательно, во всяком

[1] Когда чашка повернута на 90°, — нельзя надевать (издали — механизмами) добавочного груза (в 1 мг), а потому k тогда не определялось.

случае, очевидна зависимость декремента как от плотности газа (e), так и от его внутреннего трения.[1]

Из предшествующего вывода вытекает несколько очевидных следствий, но я немного остановлюсь только на одном из них, а именно на том, что в пустоте[2] декремент должен еще много превосходить единицу, т. е. $D-1$ тогда, несомненно, имеет еще очень большое значение. Хотя $^1/_2$ или $^2/_3$

[1] Вывод, сделанный выше из наших наблюдений над весами Неметца, по отношению к D, не может быть сделан по отношению к временам колебания t — маятника — из опытов Себейна, который произвел наблюдения над маятником Кетера в обыкновенном и разреженном воздухе и в водороде (см. упомянутые выше: Coll. d. Mémoires, t. V, стр. 158—163). Чрез N означено далее число колебаний в сутки (очевидно, что $86400/N$ равно нашему t) при температуре 36° Ф; чрез h означено давление при 0° *в дюймах* ртутного столба;

№ опыта	Воздух обыкновенный		Разреженный газ		Водород	
	h	N	h	N	h	N
V	29.762	86305.83	0.653	86316.21	—	—
VI	30.196	86305.64	14.116	86311.35	—	—
VII	30.193	86305.57	—	—	30.192	86314.08
VIII	30.113	86306.39	0.872	86316.90	30.120	86314.95
Среднее	30.07	86305.9	5.21	86314.8	30.16	86314.5

Отсюда видно, что в водороде длительность колебаний почти та же — в пределе погрешностей опыта, — как и в разреженном воздухе, но при увеличении плотности, т. е. в обыкновенном воздухе, t больше (т. е. N — меньше); иначе говоря, это значит, что плотность среды явно влияет на время, а внутреннее трение — если и влияет, то косвенно и мало зависит от μ. Я полагаю, что сделанные мною выводы по отношению к влиянию μ на D косвенно подтверждают выводы Стокса (*1850*), но в поисках истины я не считаю полезным умалчивать о том, что влияние внутреннего трения сильнее выступает в изменениях D, чем в перемене t.

[2] Свод средних дает для наших условий (весы Неметца, навеска каждой чашки 516 г, k от 0.055 до 0.050 мг) примерно следующее:

	e	μ	D_{15}
Воздух под обыкновенным давлением	1.21	0.00018	1.034
» » уменьшенным »	0.17	0.00018	1.032
Водород » обыкновенным »	0.083	0.00009	1.022.

Если считать, что изменение декремента пропорционально изменению не только плотности среды e, но и коэффициента внутреннего трения μ, то

$$D_{15} = 1.0121 + 0.0019e + 109\ \mu.$$

разности $D-1$ определяются влиянием газовой среды, но остальные $^1/_3$ или даже $^1/_2$ разности $D-1$ определяются вовсе не средою. Задача потухания всяких колебаний ($D>1$), а следовательно и весовых, поэтому далеко не исчерпывается полнейшим изучением влияния среды, а должна ныне преимущественно сосредоточиться на изучении другого несомненного влияния — трения ножей или вообще опор, на которых происходит качание. И только тогда, когда это последнее можно будет привести к концу, т. е. узнать, каковы же будут колебания, когда трение будет равно нулю, только тогда можно будет считать, что сопротивление среды и трение опор (например ножей или гнутие нитей, если весы или маятник повешены на нитях или пластинках) одни определяют потухание размахов. Поставив эту задачу, я старался накопить опытные данные для возможности в будущем ее решения с помощью наблюдения над колебаниями весов, а потому в § 25 и следующих привожу некоторые опытные данные, относящиеся к суждению о трении ножей в весах, надеясь на то, что собрание возможно точных наблюдений, направленных в сторону трения на опорах, может послужить на пользу для выяснения, ныне еще не существующего, причины потухания колебаний, чтобы иметь право и впредь утверждать, — как это ныне всегда делается, — что это потухание определяется исключительно только средою и трением, а не самою природою действующих сил (в весах — тяжестью и инерциею), что мне кажется мыслимым, хотя и не совпадающим с убеждениями, вселенными в нас по преданию от Галилея и Ньютона. Но раньше, чем перейти к опытам, касающимся трения опор в весах, остановлюсь еще на опытах, произведенных для некоторого выяснения влияния формы самих весов и взвешиваемых предметов — на D и t, потому что здесь косвенно сказывается и выясняется влияние среды.

Отсюда, повидимому, можно думать, что в среде, где не только плотность $e=0$, но и коэффициент внутреннего трения $\mu=0$ (т. е. в мнимой полной пустоте) декремент в наших условиях был бы $=1.0121$. Сверх того, можно думать, что декремент D_{15} в обыкновенном воздухе превосходит декремент в пустоте почти исключительно (но все же не вполне) потому, что внутреннее трение такого воздуха велико. Наконец, с практической стороны считаю не излишним указать на то, что, судя по нашим опытам, для уменьшения сопротивления среды и для уничтожения влияния перемен в давлении воздуха, часы и маятники лучше помещать в замкнутую (хотя бы даже не разреженную) атмосферу водорода, чем в разреженный воздух.

§ 24. **Влияние формы и объема взвешиваемых тел на колебание весов.** Среда влияет замедляющим образом на колебания, очевидно, только потому, что уступает место колеблющемуся телу, и ее частицы должны совершать при этом известные перемещения, что и поглощает часть тех сил, которые производят колебательное движение. Поэтому, если плотность и вязкость среды влияют на колебания, то на них должны подобным же образом влиять также формы (размеры и очертания) колеблющегося тела,[1] как это известно для всех видов движения и как это вытекает из понятия о сопротивлении. В этом параграфе сообщаются некоторые отрывочные опыты, относящиеся к этому предмету, произведенные в Главной палате с весами [для] наблюд[ения] изменения k, t и D при разных формах и объемах нагружаемых на чашки тел. Руководящею мыслью при этом служило следующее соображение. Когда правое плечо весов и его чашка с нагрузкою поднимаются вверх, а левое опускается (как и тогда, когда происходит обратное), столб воздуха над и под правой чашкой поднимается, а слева опускается. При таком переменном движении воздуха должны образоваться вихри, видоизменяющие свое движение не только при обратном размахе, но и при движении в одну сторону, так как скорость движения постоянно изменяется, а коромысло и другие части весов представляют препятствия движению столбов воздуха и вихрей, от того происходящих.[2] И чем больше горизонтальная (мидельная) проекция чашек или чем больше объем нагрузки или неровности ее формы, тем, повидимому, сильнее должно совершаться поглощение энергии размахов, т. е. тем большего должно ждать декремента D, конечно, при прочих равных условиях. Будут ли же эти перемены влиять на чувствительность $(1/k)$ и на время одного размаха t — должен ответить опыт, а priori же можно полагать, что k и t будут мало изменяться от форм взвешиваемых тел.

Чтобы упростить опыты — на обе чашки сразу помещались тела одинакового веса, объема и формы. Число опытов было ограничено еще и тем, что нагрузка каждый раз была

---

[1] А также размеры и формы того пространства, в котором совершаются колебания, в весах — их шкафа. Но предмет этот, отчасти уже исследованный для маятников, не подлежал нашему изучению, а потому не считаю надобным над ним особо останавливаться.

[2] Влияние на колебания весов препятствий, встречаемых воздухом (стенки весового шкафа и всякие предметы в нем), не подлежит никакому сомнению (например неколеблющиеся весы P. Curie).

близка по весу к фунту (409.512 г), так как при навеске гирями этого веса уже собрано много разных наблюдений.

Так как величина площади чашек весов делается весьма разнообразною, то прежде всего было исследовано влияние величины горизонтальной проекции навески на k, t и D, как упомянуто уже на стр. 441, 444. Приготовлены были две латунные пластинки, весом по 1 фунту и размером 9 на 4 дюйма, т. е. в 232.25 см². С другой стороны для сравнения взяты были фунтовые гири красной меди, представляющие цилиндры высотою и диаметром в 39 мм, а потому представляющие горизонтальную плоскость меньшую, чем чашка весов Рупрехта (см. табл. 10). Получены следующие результаты:[1]

№	Навеска	e в миллиграммах	k в миллиграммах	t в секундах	D
864	Гири	1.208	0.033	38.1	1.0220
865	Пластинки	1.194	0.033	39.7	1.0234
871 и 872	Гири	1.200	0.024	44.7	1.024
869 и 870	Пластинки	1.200	0.024	46.2	1.032

Отсюда видно, что увеличение горизонтальной проекции взвешиваемого предмета послужило к увеличению декремента, и тем к большему, чем больше чувствительность (т. е. чем k меньше). Но особо примечательно возрастание времени размаха t при замене гирь пластинками. Это возрастание времени так велико, что никоим образом не может быть приписано погрешности наблюдений, которые велись, как и большинство определений, Ф. П. Завадским и В. Д. Сапожниковым. А так как в каждой паре опытов вся разность состояла почти исключительно в разности так называемого прямого (мидельного) сопротивления среды, плотность и свойства которой существенно не изменялись, то надо полагать, что времена колебаний весов косвенно зависят от сопротивлений; но необходимы многие новые опыты, чтобы утвердить и выяснить эту зависимость, что не входит в число задач, подлежащих нашему ближайшему разбору,

[1] Описываемые опыты относятся к числу предварительных, при которых наблюдалось лишь немного элонгаций, а потому ни t, ни D не приведены к $r = 15$, а дается прямо среднее из 5—6 повторенных взвешиваний, когда наблюдалось каждый раз по 6 элонгаций.

а потому, не останавливаясь, перехожу к отрывочным данным о влиянии объема и формы взвешиваемых тел на колебание весов.

[В] предпол[ожении], что увеличение объема нагрузки будет увеличивать декремент, подобно тому как это происходит от увеличения поперечных размеров, было устроено из листовой латуни два, почти одинаковых, герметических цилиндра, диаметром в 80 мм, а высотою около 120 мм, а именно в 604 см³ объемом, весом же около 410 г, а потому удельного веса около 1.473. Когда они были поставлены на чашки весов Рупрехта, получены данные, приведенные в прилагаемой таблице:

Таблица 19

Дополнительные наблюдения на весах Рупрехта, поднимающих до 1 кг (табл. 10) при нагрузке цилиндрами, весящими 410 г и представляющими объем 604 см³

Наблюдали: Ф. П. Завадский и В. Д. Сапожников

[n]	n° 998	n° 999	n° 1000	n° 1001
1	199.4	206.05	158.0	137.5
2	167.75	157.55	87.15	106.0
3	198.9	204.8	156.0	136.6
4	168.35	158.75	88.8	106.75
5	198.35	203.7	154.3	135.95
6	169.1	159.9	90.25	107.3
7	197.7	202.6	152.7	135.3
8	169.8	160.95	91.6	107.95
9	197.05	201.65	151.3	134.7
10	170.25	161.85	92.9	108.5
11	196.65	200.75	149.95	134.0
12	170.75	162.7	94.1	109.0
13	196.15	200.05	148.7	133.6
14	171.35	163.5	95.3	109.4
15	195.6	199.25	147.45	133.0
16	171.8	164.35	96.35	109.9
17	195.25	198.55	146.5	132.5
18	172.15	165.0	97.35	110.35
19	194.85	197.75	145.4	132.0
20	172.65	165.75	98.25	110.65
21	194.4	197.05	144.55	131.6
22	172.95	166.4	99.25	111.0
23	194.0	196.4	143.6	131.2
24	173.35	167.0	100.1	111.4
25	193.6	195.9	142.7	130.85
26	173.65	167.5	101.0	111.9
27	193.25	195.35	141.8	130.4
28	174.0	168.15	101.75	112.1

[n]		n° 998	n° 999	n° 1000	n° 1001
	29	192.85	194.75	141.0	130.05
	30	174.35	168.6	102.5	112.45
	31	192.7	194.3	140.3	129.75
	32	174.75	169.2	103.2	112.75
$n=1.5$, $T=0$	11.5	T = 435.6	439.4	443.1	445.2 сек.
	21.5	T = 871.0	—	885.4	889.0 »
	31.5	T = 1304.0	1314.6	1326.6	1332.8 »
	p =	410	410	410	410 г
	P =	2051	2051	2051	2051 »
	k =	**0.0247**	**0.0247**	**0.0247**	**0.0247** мг
	e =	1.183	1.183	1.182	1.184 »
	t_{15} =	**43.5**	**43.7**	**44.0**	**44.5** сек.
	D_{15} =	**1.0219**	**1.0205**	**1.0203**	**1.0229** »

Чтобы видеть влияние объема, сопоставляем среднее из этих данных со средним результатом, приведенным в табл. 9 (стр. 556—557) для тех же весов, когда взвешивались платино-иридиевые фунты (уд. вес 21.5, на подставке из горного хрусталя весом в 17.7 г):

Навеска	p, в граммах	Объем, в кубических сантиметрах	k, в миллиграммах	t_{15}, в секундах	D_{15}	e [в миллиграммах]
Цилиндры (без подставки) . .	410	604	0.0247	43.9	1.021	1.18
Платино-иридиевые фунты на подставке	427	26	0.0238	44.5	1.017	

Для цилиндров времена вышли при наблюдениях недостаточно между собою согласными, а потому в среднем t_{15} нельзя признать разности от того, что получилось при взвешивании фунтовых гирь. Но декремент D_{15} при увеличенном объеме получился бо́льшим, чем при малом объеме навески. А потому можно полагать, что с увеличением объема навески декремент возрастает, как можно было и ожидать. Однако разность в D мала, и в k произошла перемена.

Для того, чтобы составить себе хотя приближенное понятие о влиянии на D выступов и всяких неровностей поверх-

ности навески, были устроены две, по фунту весом, круглые латунные этажерки,[1] с 3 полочками, имеющими диаметр 80 мм. Общая высота от нижней полки (дно) до верхней = 120 мм. Расстояние между полками = 40 мм. Они дали результаты, приведенные в табл. 20 вместе с новыми (на весах Неметца) наблюдениями над вышеупомянутыми цилиндрами.

Из данных табл. 20 видно, что t и D для цилиндров и этажерок (высоты и диаметры тех и других почти одинаковы) почти одни и те же, а потому из них (в далее приводимом своде) при равенстве нагрузок можно взять общее среднее. А для того чтобы было видно, как изменяются D и t с увеличением объема и вообще сопротивления взвешиваемых предметов, приводим вновь полученные данные (табл. 21) для колебаний тех же весов Неметца, когда нагрузкою служили латунные и медные фунтовые гири.

Рядом с [ниже]приведенными (табл. 21) наблюдениями на тех же весах, ради убеждения в степени их неизменности, по временам производились наблюдения, когда нагрузки не было ($p = 0$). Они сведены в табл. 22.

В прилагаемом сопоставлении сведены средние данные предшествующих наблюдений:

	p в граммах	k в миллиграммах	t_{15} в секундах	D_{15}
A) $P = 1147$. Нагрузки нет (табл. 22)	—106 [2]	— [3]	30.2	1.038
B) $P = 2177$. На каждой чашке по фунту нагрузки:				
Гиря латунная (табл. 21) . . .	409.5	0.052	29.7	1.035
Цилиндр или этажерка (табл. 20)	409.5	0.053	29.8	1.035
C) $P = 2996$. На каждой чашке нагрузка 2 фунта:				
Гири латунная и медная (табл. 21)	819	0.074	29.8	1.032
Этажерка и гиря в 1 фунт (табл. 20)	819	0.077	29.8	1.033

[1] Внешние их размеры взяты те же, как для вышеупомянутых цилиндров.

[2] Это значит, что переносная чашка (вес = 106 г) тогда была снята. Чашка эта накладывалась с гирями при взвешиваниях, далее приводимых, при этих же она была снята, и ее вес не действовал на весы при наблюдениях.

[3] Здесь k не определялось.

Табли

Дополнительные наблюдения на весах

(См. табл.

Наблюдения вели:

Нагрузкою служили им те же цилиндры, как в предшествующей таблице, делениях, где $p = 926$, налагались

На каждой чашке	Цилиндр $v = 604$ см³		Пустые этажерки из латуни		На нижних полках этажерок латунные фунты	
n	n° 1203	1204	1226	1227	1229	1230
1	239.7	235.8	283.7	291.2	232.5	246.0
2	188.9	195.1	243.35	243.8	192.8	184.45
3	238.0	234.4	282.0	289.3	230.9	243.5
4	191.0	196.6	245.0	244.7	294.4	186.75
5	236.2	233.0	280.7	287.6	229.5	241.5
6	192.5	198.2	246.5	246.3	195.6	188.9
7	234.5	231.8	279.3	286.2	228.4	239.6
8	194.0	199.2	247.7	248.0	196.9	190.7
9	233.15	230.5	278.3	284.95	227.3	237.8
10	195.5	200.3	248.8	249.1	197.9	192.35
11	232.0	229.5	277.3	283.8	226.3	236.3
12	196.8	201.2	249.9	250.4	199.0	193.7
13	230.7	228.7	276.5	282.8	225.35	234.95
14	197.7	202.1	250.9	251.6	199.9	195.2
15	229.7	227.8	275.6	281.75	224.7	233.65
16	198.9	202.8	251.8	252.6	200.8	196.5
17	228.8	227.0	274.9	280.7	223.8	232.3
18	199.75	203.7	252.4	253.6	201.45	197.7
19	227.9	226.3	274.1	279.85	223.3	231.4
20	200.7	204.4	253.05	254.4	201.95	198.7
21	226.9	225.7	273.45	279.05	222.5	230.3
22	201.4	205.0	254.0	255.2	202.55	199.6
23	226.25	225.2	272.95	278.3	221.95	229.3
24	202.35	205.7	254.3	257.0	203.3	200.55
25	225.5	224.4	272.25	277.7	221.5	228.5
26	203.0	206.4	255.0	256.6	203.8	201.3
27	224.9	223.8	271.8	276.85	220.85	227.7
28	203.9	206.65	255.65	257.4	204.25	202.15
29	224.0	223.4	271.25	276.5	220.4	226.9
30	204.1	207.2	256.0	257.9	204.7	202.9
31	223.7	223.0	270.95	275.9	220.0	226.4
32	204.95	207.4	256.5	258.4	205.1	203.55
$n=1.5$, $T=0$ 11.5	301.0	299.8	299.0	298.6	302.8	303.2
$n=1.5$, $T=0$ 21.5	—	595.4	596.0	595.4	604.8	604.6
$n=1.5$, $T=0$ 31.5	—	891.6	892.0	891.4	905.6	905.0
k =	0.0530	0.0530	0.0518	0.0518	0.0747	0.0747
e =	1.204	1.204	1.198	1.198	1.198	1.198
p =	516	516	516	516	926	926
t_{15} =	29.8	29.8	29.8	29.7	30.2	30.0
D_{15} =	1.03325	1.03578	1.03714	1.03427	1.03561	1.03103

ц а 20

Неметца, поднимающих до 1 кг

12 и 13)

В. Д. Саложников и К. Н. Егоров

или латунные этажерки весом по 1 фунту, на которые, в последних опре-
латунные гири по 1 фунту

На верхних полках этажерок латунные фунты		На верхней полке левой этажерки латунный фунт, а на правой этажерке такой же фунт на нижней полке				
1249	**1250**	**1239**	**1240**	**1246**	**1247**	
236.2	252.3	230.5	236.75	246.0	249.8	
181.3	198.0	186.2	193.6	194.3	195.25	
233.95	250.0	229.0	235.0	243.9	247.7	
183.5	200.45	187.6	195.1	196.4	197.2	
231.95	247.9	227.55	233.8	242.0	245.85	
185.55	202.4	188.9	196.45	198.0	199.15	
230.2	246.2	226.4	232.75	240.3	244.05	
187.25	204.1	190.25	197.85	199.7	200.65	
228.7	244.6	225.15	231.7	238.9	242.5	
188.8	205.8	191.55	198.9	201.0	202.1	
227.2	243.0	224.25	230.45	237.6	241.25	
189.95	207.05	192.45	199.6	202.35	203.5	
226.0	241.75	223.35	229.8	236.4	239.95	
191.15	208.45	193.7	200.65	203.65	204.7	
224.8	240.7	222.25	228.9	235.35	238.9	
192.4	209.55	194.25	201.55	204.6	205.65	
223.8	239.65	221.5	228.15	234.5	237.8	
193.35	210.6	195.1	202.3	205.6	206.8	
222.25	238.60	220.6	227.4	233.5	237.0	
194.3	211.6	195.85	203.0	206.6	207.85	
222.05	237.9	219.95	226.55	232.3	236.15	
195.2	212.4	196.45	203.65	207.4	208.6	
221.15	236.95	219.35	226.05	232.0	235.1	
196.0	213.15	197.2	204.35	208.1	209.4	
220.45	236.35	218.7	225.45	231.25	234.5	
196.6	213.95	197.95	205.0	208.85	210.15	
219.55	235.6	218.2	224.85	230.7	233.9	
197.5	214.4	198.55	205.4	209.5	210.95	
219.0	235.0	217.5	224.3	230.0	233.15	
198.1	215.3	198.95	206.0	210.05	211.5	
218.5	234.4	217.0	223.9	229.4	232.55	
198.9	215.9	199.55	206.35	210.6	212.05	
298.8	296.6	305.3	302.9	298.4	298.6	сек.
595.8	591.2	605.2	604.7	594.6	595.4	»
891.4	884.4	903.8	905.3	889.6	891.4	»
0.0799	0.0799	0.0761	0.0761	0.0775	0.0775	мг
1.196	1.196	1.193	1.193	1.196	1.196	»
926	926	926	926	926	926	г
29.7	29.4	30.0	30.2	29.6	29.7	сек.
1.03339	1.03544	1.03174	1.03182	1.03474	1.03146	

Таблица 21

Дополнительные наблюдения на весах Неметца (до 1 кг)

Наблюдали: В. Д. Сапожников и К. Н. Егоров

Колебания при нагрузке в 1 и 2 фунта на каждой чашке

n	№ 1276	1277	1278	1279	1280	1281	
1	247.6	246.3	257.75	247.7	253.45	259.9	
2	199.8	202.2	201.65	206.15	206.65	198.9	
3	245.7	244.3	255.7	246.25	251.7	258.0	
4	201.75	204.1	204.15	207.8	208.35	201.35	
5	244.1	242.75	253.45	245.1	250.6	255.65	
6	203.5	205.55	206.1	209.05	209.8	203.25	
7	242.8	241.1	251.8	243.8	248.75	254.0	
8	204.95	207.1	207.85	210.25	210.3	205.2	
9	241.45	239.8	250.4	242.7	247.5	252.25	
10	206.05	208.3	209.1	211.5	212.5	207.0	
11	240.3	238.8	248.8	241.6	246.0	250.9	
12	207.35	209.6	210.6	212.35	213.8	208.0	
13	239.0	237.75	248.8	240.6	245.05	249.6	
14	208.5	210.55	212.0	213.4	214.9	209.7	
15	238.0	236.6	246.6	239.95	244.1	248.45	
16	209.4	211.5	212.8	214.1	215.6	210.85	
17	237.0	235.9	245.1	239.2	243.05	247.1	
18	210.3	212.25	214.3	214.95	216.65	211.6	
19	236.4	234.95	244.4	238.35	242.5	246.0	
20	211.1	213.1	215.05	215.6	217.7	213.0	
21	235.75	234.25	243.4	237.7	241.45	244.5	
22	211.9	213.95	216.1	216.7	218.45	213.75	
23	235.0	233.75	242.75	237.0	241.25	243.9	
24	212.6	214.5	216.8	216.9	218.95	214.9	
25	234.2	233.0	242.5	236.25	240.55	243.0	
26	213.3	215.1	217.5	217.5	219.6	215.7	
27	233.65	232.4	241.45	235.8	239.7	242.1	
28	214.0	215.6	217.45	218.3	219.95	216.6	
29	233.1	232.0	241.1	235.0	239.0	241.35	
30	214.5	216.1	217.9	218.9	220.65	217.3	
31	232.6	231.25	240.7	234.45	238.9	240.75	
32	214.95	216.75	218.75	219.3	221.6	218.00	
$n=1.5$, $T=0$ 11.5	298.8	295.0	300.8	298.2	299.6	300.0	сек.
$n=1.5$, $T=0$ 21.5	595.4	588.2	599.8	595.4	598.6	597.8	»
$n=1.5$, $T=0$ 31.5	890.8	879.6	897.4	891.8	897.0	895.0	»
$p=$	516	516	925	925	516	516	г
$k=$	0.0523	0.0520	0.0734	0.0753	0.0523	0.0517	мг
$e=$	1.185	1.185	1.185	1.185	1.184	1.183	»
$t_{15}=$	29.7	29.4	29.8	29.8	29.9	29.8	сек.
$D_{15}=$	1.0332	1.0392	1.0305	1.0331	1.0346	1.0329	

Таблица 22

Дополнительные наблюдения на весах Неметца (табл. 12)

Наблюдали: В. Д. Сапожников и К. Н. Егоров

Груз и съемная часть чашек сняты, а потому $p = 0$

n	№ 1205	1228	1231	1241	1248	1251
1	288.8	292.8	292.6	293.75	282.3	281.75
2	244.7	239.0	248.4	244.0	246.3	248.7
3	286.9	290.5	291.1	291.95	281.05	279.45
4	246.7	241.65	250.0	245.9	247.95	250.0
5	285.1	288.5	289.5	290.25	279.95	278.55
6	248.1	243.8	251.65	247.5	249.25	251.2
7	283.95	286.8	287.9	288.85	278.8	277.5
8	249.55	245.6	252.75	248.95	250.45	252.15
9	282.6	285.0	286.7	287.45	277.8	276.55
10	250.8	247.4	253.9	250.2	251.5	253.2
11	281.3	283.5	285.55	286.15	276.95	275.75
12	252.0	249.0	255.1	251.5	252.4	253.95
13	280.25	282.25	284.5	284.95	276.0	275.05
14	253.0	250.1	256.4	252.6	253.4	254.55
15	279.3	281.05	283.7	284.0	275.4	274.35
16	254.0	251.4	257.0	253.55	254.0	255.35
17	278.4	280.0	282.65	283.0	274.7	273.7
18	255.0	252.4	258.1	254.55	254.75	256.0
19	277.6	279.0	281.9	281.85	274.0	273.15
20	255.8	253.3	258.8	255.6	255.45	256.75
21	276.85	278.1	281.2	280.8	273.5	272.65
22	256.4	254.1	259.55	256.2	256.0	257.2
23	276.2	277.3	280.5	280.2	273.0	272.25
24	257.0	255.0	260.3	257.15	256.7	257.7
25	275.3	276.5	279.85	279.45	272.5	271.75
26	257.75	255.95	260.8	258.8	257.25	258.2
27	274.8	275.9	279.2	278.75	272.0	271.35
28	258.2	256.6	261.4	258.5	257.8	258.55
29	274.3	275.2	278.8	278.1	271.5	270.95
30	258.9	257.05	261.95	259.05	258.2	259.0
31	273.8	274.7	278.3	277.55	271.3	270.55
32	259.3	257.75	262.35	259.5	258.7	259.35
n=1.5, T = 0 11.5	297.6	304.4	307.2	302.5	301.8	303.6 сек.
21.5	594.0	606.4	612.4	608.4	601.8	— »
31.5	889.0	908.4	917.2	910.4	901.2	— »
e =	1.202	1.198	1.197	1.193	1.195	1.195 мг
t_{15} =	29.7	30.2	30.6	30.3	30.2	30.3 сек.
D_{15} =	1.0384	1.0386	1.0359	1.0350	1.0386	1.0414

Отсюда следует заключить (как и из табл. 19), что увеличение объема (без увеличения мидельного сечения или горизонтальной проекции) или выступов (как в этажерке, опять без увеличения мидельного сечения) не изменяет заметным образом времен t размахов и — если изменяет декремент, то лишь незначительно, почти в пределе возможных погрешностей.[1]

§ 25. **Влияние трения ножей на колебания весов.** Из всех видов «сопротивлений», или сил, возникающих от движения, которому они стремятся противодействовать, наименее изученным и наиболее темным остается поныне трение твердых тел. А то видоизменение его, которое проявляется в маятниках и весах, снабженных ножами (призмами), опирающимися на подушку, не только почти вовсе не изучалось,[2] но и очень трудно для изучения, потому что здесь нет тех видимых относительных перемещений трущихся тел, какие свойственны «скользящему» и «катящему» трению, так как острое ребро ножа покоится на подушке и существует только перемена углов и угловых скоростей между гранями ножа и подушки. А между тем на преодоление этого вида трения, очевидно, идет часть энергии колебаний, если они потухают в пустоте.[3]

Необходимо много новых опытных исследований, чтобы, во-первых, узнать законы трения, действующего между острием призмы и подушкою, на которую она опирается, и, во-вторых, найти способы для измерения этого трения и зависимости от него декремента. Опытные исследования, которые до сих пор произведены в Главной палате в указанном направлении и сообщаются вслед за сим, едва составляют некоторое начало того долгого пути, на котором может явиться ответ на предстоящие вопросы, и я сочту свою пер-

---

[1] Косвенно это значит, что влияние бокового трения и воздушных вихрей, возбуждаемых колебаниями, если существует, то незначительное, а потому вихри мало влияют на t и D.

[2] О том, что мне известно сделанным ранее сего в отношении трения ножей на подушках, я считаю необходимым кратко упомянуть в выносках этого параграфа. Здесь же я упоминаю отчасти и о том, что мне кажется полезным сделать в отношении изучения трения твердых тел и что я преднамереваюсь выполнить, если обстоятельства это позволят.

[3] Этот опыт, мне кажется, следует сделать вновь, взяв легкий маятник с возможно твердою (из алмаза или корунда) подушкою и заключив его затем в стеклянную трубку, из которой выкачать (лучшим ртутным насосом) со всем возможным совершенством воздух, затем эту трубку запаять.

вичную цель совершенно достигнутою, если мне удастся показать интерес, заключающийся в исследованиях указанного вида трения, и если это побудит к нахождению способов для его изучения и измерения, тем более, что излагаемые далее немногие опыты произведены с обычными весами, а здесь, очевидно, необходимы новые точные измерительные приборы.[1]

---

[1] Два из них я успел выполнить в простейшей форме, и оба обещают дать полезные результаты, а потому будут мною выполнены в улучшенном виде, тогда и будут сообщены результаты наблюдений. Первый прибор представляет вид двойного маятника: один — внутренний — маятник на призме — ничем не отличается от обычного, другой же — наружный, синхронический с первым, — на уровне своей оси снабжен подушкою, на которую опирается внутренний маятник. Если оба маятника пустить в ход в одном направлении и вместе, то для внутреннего маятника не будет изменения угла между ножом и подушкой. Если наружный маятник оставить без движения, то для внутреннего будет известная перемена упомянутого угла. Она сделается двойною или вообще увеличенною, если оба маятника будут качаться в разные стороны. Надеюсь чрез это получить некоторые, хотя бы качественные, сведения о той роли, какую играет здесь угловая скорость между ножом и подушкой.

Другой прибор, представляющий тяжелый, снаружи сплошной, внутри полый, маховик, назначается для измерения величины трения и для опытного определения зависимости t и D от угла отклонения. Когда грузы, помещенные в полости маховика, будут распределены столь равномерно, что центр тяжести придется на оси, тогда наблюдение над убылью скорости вращения даст элементы для определения трения, даже — если окажется необходимым — при переменных скоростях. Затем, распределив внутри маховика прежние тяжести неравномерно, маховик превратится в маятник, убыль размахов которого можно наблюдать, даже начиная с углов очень больших (почти до 360°), что по меньшей мере дополнит и расширит сведения о зависимости в физических маятниках между убылью D и t от убыли r (или угла α в формуле § 7, стр. 436), если и нельзя будет (изменяя грузы) определить истинную величину трения и его коэффициент.

Задумав эти и несколько иных приборов, назначаемых для изучения трения, но успев их осуществить только в первичной форме, я предполагаю тем содействовать выяснению указанного вида трения, сводя его на более известные виды трения и определяя обычный коэффициент трения (или как отношение давления к трению, или как тангенс угла скольжения), чтобы получить численные величины для проверки соображений, которые ныне одни господствуют по отношению к указанному виду трения.

Особенно настоятельно из опыта вывести, к какому роду трений (скользящему или катящему) ближе стоит трение ножей на подставках. То, что сделано мною до сих пор, повидимому, показывает его близость к трению «катящему», но так как опыты, сюда относящиеся, еще лишь начаты и я предполагаю возвратиться к этому предмету особо, то я не решаюсь ни высказываться окончательно ни описывать сделанных попыток, между которыми упомяну лишь об определении угла наклона подушки к горизонту, при котором начинается скольжение на ней ножа.

Известно, что виды трения твердых тел (изученные Кулоном) показывают прямую пропорциональность его с давлением или общею нагрузкою; поэтому есть немало оснований думать, что и в весах (маятниках) трение ножей возрастает пропорционально общей нагрузке, которая выше (§ 20) означена буквою P. Из этого соображения можно было бы определять величину коэффициента трения весов, увеличивая нагрузку и определяя декремент (и t), если бы при возрастании нагрузки не происходило гнутия коромысла, а от него возрастания k, что ведет за собою большие перемены t и D, независимые от трения. Сверх того, дело усложняется еще тем, что в одних весах с возрастанием P величины t и D возрастают (весы Рупрехта до 1 кг, Эртлинга до 2 кг), в других уменьшаются (весы Колло), а в третьих t и k возрастают, а D сперва возрастает, потом уменьшается (весы Неметца). Замечаемое в некоторых весах уменьшение D при возрастании P идет несмотря на то, что при возрастании P трение ножей должно возрастать, а от него и D увеличиваться. По этим причинам изучение трения в весах нельзя (как я сперва предполагал) основать преимущественно на изменении общего груза P[1] весов.

Тем не менее, наблюдения над переменами в k, t и D, происходящими при изменении P, доставляют одно косвенное показание, прямо относящееся к трению ножей, даже в случае таких весов, как Колло, для которых t и D с возрастанием p не возрастают, а уменьшаются. Показание это состоит в том, что при снятии самих чашек *всегда* в D и даже t наступает однообразное изменение, а именно сильное уменьшение, т. е. нарушается последовательность изменений, что должно приписать, если не исключительно,[2] то преимущественно — уничтожению трения 2 боковых призм, так как оно непременно должно служить к увеличению сопротивлений, т. е. к возрастанию декремента. Чтобы яснее всего видеть то, о чем здесь идет речь, рассмотрим весы Колло.

---

[1] Весьма вероятно, что в весах относительное положение 3 ножей и инерция колеблющихся масс усложняют все дело (т. е. изменение D_{15} и t_{15}), а потому для изучения трения ножей недостаточно опытов с весами и требуется устройство особых приборов.

[2] При снятии чашек, сверх убавки в общей нагрузке P и сверх уничтожения трения в боковых призмах, происходит еще и уменьшение сопротивления среды, зависящего от большой горизонтальной проекции чашек (§ 24). Но это последнее, судя по вышеприведенным (§§ 23 и 24) выводам, не может быть очень значительным.

Для этих весов по табл. 14:

	P в килограммах	k в миллиграммах	t в секундах	D_{15}
Обе чашки с подвесками сняты	14.6	1.1	49	1.025
Чашки надеты, нагрузка каждой $p = 0$	29.9	3.9	56	1.046
» » » » » = 10 фунтов	38.1	6.0	53	1.032
» » » » » = 20 »	46.3	9.0	49	1.026
» » » » » = 40 »	62.6	17.0	43	1.017
» » » » » = 80 »	95.4	40.3	36	1.010

Достаточно одного взгляда на эти цифры, чтобы видеть: 1) что величина k стройно изменяется по P не только при надетых чашках, но и после их снятия, потому что величина k определяется почти исключительно общим весом P, от которого зависит гнутие коромысла и положение центра его тяжести; 2) что для t и D стройные изменения в зависимости от P наступают только тогда, когда чашки надеты, ибо тогда действует трение всех 3 ножей; 3) что при снятии чашек в D и в t наступает нарушение стройных перемен в зависимости от P и 4) что при этом D явно и очень сильно уменьшается, что главнее всего должно приписать уничтожению трения в боковых ножах, в которых тогда трение исчезает. Но явление столь сложно, что ныне, мне кажется, еще нельзя приступить к его полному разбору. Однако накопление наблюдений подобного рода, вероятно, позволит со временем сделать это, а потому я и старался, где было возможно, собрать данные для зависимости k, t и D от P как при подвешенных чашках, так и без них. Часть этих наблюдений, всегда приводящих к одному выводу, приведена выше, например в табл. 11, 13 и 17.

§ 26. **Изменение колебаний весов под влиянием перемены трения среднего ножа.** Если трение ножей, как трение скольжения или катания, пропорционально надавливанию или, при весах, нагрузке, то, означив коэффициент трения чрез λ, чрез P_0 — вес коромысла, чрез p_0 — вес каждой чашки и чрез p — переменный вес нагрузки каждой чашки, трение на среднем ноже будет

$$\lambda(P_0 + 2p_0 + 2p),$$

а на каждом из боковых:

$$\lambda(p_0 + p),$$

следовательно, трение на центральном ноже относится к сумме трений на одних боковых ножах, как

$$\frac{P_0 + 2p_0 + 2p}{2p_0 + 2p}, \text{ или как } 1 + \frac{P_0}{2(p_0 + p)}, \text{ или как } \frac{P}{P - P_0}$$

относится к единице, т. е. трение среднего ножа превосходит сумму трения боковых ножей, а потому главнейшую роль играет средний нож, надавливаемый всею нагрузкою $P = P_0 + 2p_0 + 2p$.[1] По этой причине всякое изменение в трении среднего ножа должно сильно отражаться на величинах D, t и k, если они прямо или косвенно зависят от трения ножей. Трение же среднего ножа можно изменять, ничего не трогая в подвижных частях весов, а просто изменяя подушку или подставку, на которую опирается этот нож. Особенно легко это делать в весах Неметца (до 1 кг) и Рупрехта (до 75 кг), имеющихся в нашем распоряжении, так как в них подушка эта со своею металлическою подкладкою очень легко вдвигается в особый паз и может легко сменяться всякою иною.

Обратимся к наблюдениям, произведенным на весах Неметца.[2] *Средний нож* (призма) в этих весах изготовлен *из кремня* (аморфный кремнезем из стяжений в меловых породах), а под ним обычная подушка из агата, твердость которого давно достаточно оценена[3] и служит причиною

---

[1] Не говоря уже о весах, поднимающих до 1—2 кг, как, например, Неметца, даже для весов Колло указанное отношение—даже при наибольшей нагрузке в 2 пуда на каждую чашку = 1.18, а обыкновенно трение центрального ножа превосходит сумму трений боковых ножей примерно на $^1/_3$.

[2] Наблюдения при переменных подушках на больших (75 кг) и очень точных весах Рупрехта не могли быть вполне выполнены к сроку (конец августа 1898 г.) печатания этой главы, а потому отчет о них явится во «Временнике Главной палаты», когда работа закончится.

[3] Твердость агата близка к кварцу — по шкале *Mohs*, в абсолютной же (килограмм на квадратный миллиметр) мере (Auerbach, Wied. Ann., Bd. 58, 1896, стр. 357) твердость кварца = 308, если для каменной соли она = 20, для известкового шпата = 92, для плавикового шпата = 110, для апатита = 237, адулара = 253, топаза = 525, берилла = 588 и корунда = 1150. Для стекол Ауэрбах нашел абсолютную твердость от 173 до 316 (а именно, 316 для баритово-глиноземно-борного стекла). Следовательно, повидимому, для подкладок (подушек) в обычных весах и маятниках можно вместо агата применять твердые сорта стекла (с малым содержанием натра и извести), но для точных приборов было бы лучше заменять агат берилом, топазом, корундом или даже алмазом, что уже испытывается мною, но подробности будут сообщены позднее.

того, что в точных маятниках и весах чаще всего делают подушку из агата. Для замены агатовой подушки мастер Главной палаты Мельзас приготовил возможно тщательно планированные другие подушки. Были испытаны следующие 10 разных подушек: из агата, из твердо закаленной инструментальной стали, из мягкого весьма однородного вольфрамистого железа, из латуни, красной меди, слоновой кости, бычачьего рога, твердого каучука, целлюлоида и из олова. Когда применялись первые 8 подушек, колебания можно было правильно наблюдать, хотя потухание размахов совершалось с разною быстротою, и после опыта на подушке нельзя было (простым глазом) заметить никакого следа от острия призмы. Но когда были взяты подушки из целлюлоида и олова, колебания тотчас прекращались, нормальное положение равновесия изменялось, и на подушках оставался ясно видимый след от врезывания острого ребра призмы. Явление это указывает на то, что упругие свойства острия и подушки и их твердость играют явную роль в явлениях колебания, подобно тому как это замечается при колебаниях, когда вместо ножа взята гибкая пружина, а вместо подушки упругая перепонка.[1]

В прилагаемой табл. 23 сведены наблюдения на весах Неметца при 7 переменных подушках,[2] причем нагрузкою

[1] О теории явлений подобного рода недавно (Annales de Chimie et de Physique, 1898, t. XIII, стр. 281) писал M. Brillouin. Считаю, однако, не излишним заметить, что в деле принимает участие не только нож, но и подушки. Нож (острие его) при колебаниях изгибается, подушка же вместо плоской становится от надавливания вогнутой; оба тела зыблются при качаниях.

[2] Данные наблюдений, сделанных с подушкою из слоновой кости, не считаю возможным привести вполне рядом с вышеуказанными по двум причинам. Во-первых, потому, что эти наблюдения сделаны были месяца чрез два после всех прочих, а потому в состоянии весов можно предположить некоторые (например температурные) изменения. Во-вторых, от скопления случайностей разного рода наблюдения с подушкою из слоновой кости вышли менее полными, чем со всеми другими подушками. Тем не менее, из наблюденных данных можно вывести, что D_{15} при указанной подушке было около 1.16, t_{15} около 22 сек. и $k = 0.1056$ мг. Эти числа показывают, что слоновая кость по свойствам близка к бычачьему рогу. Надо полагать, что примененный прием может дать новый, простой и точный способ для определения некоторых свойств твердых тел, если будет устроен специальный прибор (род метронома) для колебаний при сменных ножах и подушках, и я полагаю, что это может оказать особые услуги не только для скорого и точного определения твердости, но и в практике при сравнении разных дерев, камней, стекол, глазурей, металлов, их сплавов и т. п., так как времена колебаний (например десяти) и их декременты можно наблюдать легко и очень скоро. Прибор этот уже находится в работе Главной палаты, и отчеты об наблюдениях явятся во «Временнике» Палаты.

Таблица 23

Дополнительные наблюдения на весах Неметца (табл. 12 и 13)

Влияние трения на разных подушках под средним (из кремня) ножом коромысла

Наблюдатели: В. Д. Сапожников и К. Н. Егоров (май 1898)

n	I. Подушки из агата (см. VIII)		II. Подушки из закаленной стали		III. Подушки из красной меди			
	№ 1059	1060	1067	1068	1091	1092	1094	1095
1	222.75	211.5	213.6	245.0	245.7	263.0	258.2	292.1
2	160.60	156.0	174.3	155.25	180.9	193.0	209.3	174.7
3	220.9)	209.5	212.0	241.5	239.4	250.4	253.5	278.8
4	171.50	158.0	175.9	158.8	186.5	201.2	212.6	185.7
5	219.05	208.5	210.5	238.0	235.55	245.0	251.0	270.05
6	173.30	159.75	177.0	162.25	190.0	205.2	214.9	193.0
7	217.45	206.25	209.0	234.25	232.4	241.6	249.0	263.65
8	174.80	161.5	178.05	165.0	192.95	208.3	216.8	198.4
9	216.00	204.8	208.0	232.4	230.15	239.4	247.1	259.0
10	176.20	162.5	179.1	167.25	195.0	210.3	218.7	203.7
11	214.70	2. 3.4	207.0	230.0	228.4	237.7	245.6	255.3
12	177.50	163.5	180.0	169.4	196.8	211.5	220.2	206.0
13	213.50	202.25	206.2	227.9	226.9	236.6	244.5	252.5
14	178.60	164.75	181.0	171.5	198.3	212.8	221.5	208.8
15	212.50	201.2	205.5	225.8	225.55	235.4	243.4	250.0
16	179.75	165.75	181.95	173.3	199.4	213.8	222.5	211.0
17	211.30	200.1	204.65	224.0	224.3	234.4	242.3	247.95
18	180.70	167.0	182.75	175.0	200.5	215.0	223.4	213.0

	19	210.40	199.2	203.7
	20	181.70	167.55	183.3
	21	209.50	198.2	203.1
	22	182.45	168.5	184.0
	23	208.70	197.6	202.6
	24	183.3	169.7	184.5
	25	208.00	196.7	202.0
	26	183.9	170.4	185.05
	27	207.3	196.0	201.25
	28	184.7	171.1	185.7
	29	206.6	195.6	201.0
	30	185.3	171.75	186.0
	31	205.95	194.6	200.55
	32	186.0	172.5	186.5
$n=1.5,\ T=0$	11.5 $T=$	329.6	327.8	334.2
	21.5 $T=$	658.0	653.8	666.8
	31.5 $T=$	985.4	979.4	998.2
	$p=$	515.5	515.5	515.5
	$P=$	2178	2178	2178
	$k=$	0.0437	0.0437	0.0429
	$e=$	1.229	1.228	1.201
	$l_{15}=$	**32.8**	**32.6**	**33.4**
	$D_{15}=$	**1.0326**	**1.0301**	**1.0382**

222.75	223.5	233.35	241.5	246.25
176.6	201.5	215.8	224.2	214.5
221.1	222.55	232.5	240.8	244.7
178.0	202.2	216.5	224.9	216.0
219.8	221.7	232.0	240.05	243.3
179.0	203.0	217.2	225.6	217.3
218.5	221.0	231.45	239.9	242.3
180.50	203.6	217.8	226.2	218.3
217.3	220.3	230.9	239.05	241.3
181.6	204.2	218.25	226.6	219.2
216.2	219.7	230.35	238.7	240.3
182.6	204.8	218.65	227.0	220.2
215.2	219.2	229.9	237.3	239.5
183.5	205.2	219.2	227.55	221.0
335.4	—	—	224.6	231.0 сек.
667.8	508.6	—	—	— »
1000.0	759.0	762.4	672.6	680.0 »
515 5	515.5	515.5	0	0 г
2178	2178	2178	1147	1147 »
0.0430	0.0712	0.0712	—	— мг
1.202	1.191	1.192	1.194	1.194 »
33.2	**25.4**	**25.4**	**22.4**	**22.5** сек.
1.0295	**1.0542**	**1.0765**	**1.0580**	**1.0498**

n	IV. Подушки из бычачьего рога			
	n° 1082	1083	1084	
1	350.3	216.0	230.6	
2	313.0	124.3	145.5	
3	349.0	196.0	212.7	
4	320.3	136.2	161.0	
5	345.0	186.0	203.5	
6	323.2	143.0	168.5	
7	342.7	179.7	198.5	
8	326.05	147.3	173.0	
9	341.0	175.0	195.25	
10	328.2	150.5	176.25	
11	339.5	172.0	193.0	
12	329.5	152.9	178.25	
13	338.8	170.0	191.25	
14	331.0	154.6	180.0	
15	338.0	168.0	190.0	
16	332.0	155.9	181.0	
17	337.3	166.8	189.1	
18	332.7	156.9	182.0	
19	337.0	165.7	188.4	
20	333.1	157.3	182.7	
21	336.8	164.5	187.8	

	V. Подушки из твердого каучука		
1085	1133	1134	1136
360.2	228.8	237.0(?)	320.3
325.0	154.5	97.5	268.0
355.0	208.9	176.25	310.5
330.0	166.4	123.0	275.4
351.7	199.3	171.25	305.0
333.2	172.4	132.0	280.3
349.5	193.3	163.75	301.5
335.7	176.05	137.8	283.7
348.0	190.1	159.6	299.0
338.5	179.2	141.2	286.05
347.0	187.3	156.5	297.3
339.0	179.6	143.5	287.95
345.3	186.0	154.6	296.3
340.0	180.3	145.2	289.0
345.8	184.7	154.25	295.3
341.0	180.8	146.5	290.05
345.3	183.8	152.4	294.8
341.5	181.0	147.2	290.7
345.0	183.0	151.5	294.25
342.0	181.05	148.8	291.2
345.0	182.6	151.1	294.0

	22	333.8	158.0	183.3	342.5	181.0	148.2	291.7
	23	336.5	163.9	187.2	344.9	182.0	150.8	293.9
	24	334.0	158.4	183.7	342.9	181.0	148.55	292.0
	25	336.3	163.0	187.0	344.8	181.7	150.55	293.7
	26	334.3	158.8	184.0	343.1	181.0	148.75	292.4
	27	336.1	162.5	186.7	344.7	181.2	150.3	293.6
	28	334.5	159.0	184.4	343.5	180.7	148.95	292.6
	29	336.0	162.2	186.5	344.6	181.0	150.05	293.5
	30	334.8	159.3	184.5	343.7	180.5	149.05	292.7
	31	335.95	162.0	186.2	344.5	180.7	150.0	293.5
	32	335.0	159.5	184.6	343.9	180.4	149.2	292.9
$n=1.5$, $T=0$	11.5, $T=$	—[1]	—	—	—	155.4	146.2	—сек.
	21.5, $T=$	—	—	—	—	359.8	277.8	— »
	31.5, $T=$	557.8	538.2	538.6	472.2	445.0	411.2	— »
	$p=$	515.5	515.5	515.5	0	515.5	515.5	0 г
	$P=$	2178	2178	2178	1147	2178	2178	1147 »
	$k=$	0.0931	0.0931	0.0931	—	0.1933	0.1933	— мг
	$e=$	1.192	1.192	1.192	1.192	1.205	1.204	1.205 »
	$t_{15}=$	Среднее $t=18.2$			**15.8**	**15.5**	**14.5**	— сек.
	$D_{15}=$	**1.1604**	**1.1521**	**1.1885**	**1.1519**	**1.2702**	**1.2533**	**1.1900**

[1] При быстроте качаний и при небольшой величине размахов (при $n=11.5$ и 21.5) трудно уловить точное время прохождения чрез избранное (около L) деление шкалы, а потому здесь наблюдатели не могли дать точных времен T, и в наблюдении при $n=31.5$ содержится погрешность более обычной. Но при подушках из твердого каучука, хотя времени еще меньше, приноровились сделать отсчеты и при $n=11.5$ и 21.5.

[Продолжение]

n	VI. Подушка из незакаленной вольфрамозой стали			VII. Подушка из латуни			VIII. Подушка из агата, как I		
	n° 1137	1138	1140	1141	1142	1143	1144	1145	1146
1	357.2	307.3	265.75	287.5	247.3	276.6	252.05	281.5	323.7
2	220.6	220.4	213.5	158.6	176.0	210.1	208.0	213.0	236.8
3	350.5	302.9	263.6	278.2	244.3	272.85	250.2	278.4	319.7
4	226.4	224.9	215.4	166.8	179.0	213.5	209.7	215.8	240.2
5	345.1	299.2	262.0	271.9	241.9	270.0	248.9	275.85	316.0
6	291.8	228.35	217.1	172.8	181.95	216.5	211.3	218.5	243.5
7	340.2	296.15	260.55	266.9	239.35	267.2	247.5	273.6	313.0
8	236.2	231.3	218.7	177.5	184.3	218.8	212.6	220.5	246.3
9	335.7	293.6	259.15	262.4	237.3	265.4	246.3	271.5	310.3
10	240.2	233.7	220.1	182.0	186.7	221.2	213.9	222.6	249.0
11	332.0	291.4	258.0	259.0	235.3	263.2	245.35	269.8	307.9
12	243.5	236.0	221.3	185.5	188.4	223.1	214.9	224.3	251.5
13	327.8	289.3	256.9	256.0	233.7	261.8	244.3	268.2	305.4
14	246.6	237.95	222.5	188.7	190.15	224.5	215.95	225.7	253.5
15	325.6	287.6	255.6	253.4	232.0	260.4	243.45	266.8	303.5
16	249.25	239.7	223.55	191.6	191.75	225.9	216.9	227.2	255.2
17	322.9	285.95	254.75	251.05	230.9	259.0	242.65	265.5	301.6
18	251.8	241.3	224.5	193.7	193.2	227.05	217.7	228.5	256.9
19	320.5	284.5	253.8	248.95	229.5	257.9	241.9	264.5	300.0
20	254.2	242.75	225.4	196.5	194.7	228.4	218.3	229.8	258.4
21	318.3	283.0	252.9	247.2	228.3	256.7	241.15	263.4	298.6

	22	256.4	244.0	226.2	198.2	195.8	229.4	219.0	231.0	259.95
	23	316.3	281.85	252.05	245.4	227.25	255.8	240.65	262.2	297.1
	24	258.2	245.3	227.0	200.0	197.05	230.2	219.5	231.9	261.3
	25	314.3	280.7	251.55	243.8	226.3	254.9	239.9	261.2	295.95
	26	260.0	246.5	227.8	202.05	198.0	231.1	220.25	232.9	262.5
	27	312.5	279.65	250.8	242.3	225.6	254.1	239.45	260.4	294.75
	28	262.6	247.4	228.4	203.5	199.0	232.0	220.8	233.6	263.6
	29	311.0	278.7	250.2	241.05	224.6	253.4	238.9	259.6	293.8
	30	263.2	248.5	229.0	204.9	200.0	232.6	221.2	234.6	264.7
	31	309.4	277.7	249.7	239.95	224.0	252.75	238.5	258.85	292.7
	32	264.55	249.3	229.7	206.2	201.0	233.5	221.9	235.4	265.95
$n=1.5,\ T=0$	11.5, $T=$	306.8	305.4	300.6	—	279.6	281.0	311.6	308.0	316.6 сек.
	21.5, $T=$	611.2	608.2	659.4(?)	573.0	556.0	561.2	621.4	614.4	631.2 »
	31.5, $T=$	913.4	909.6	892.4(?)	855.2	831.2	838.2	930.4	919.0	943.2 »
	$p=$	0	0	515.5	515.5	515.5	0	515.5	515.5	0 г
	$P=$	1147	1147	2178	2178	2178	1147	2178	2178	1147 »
	$k=$	—	—	0.0499	0.0629	0.0629	—	0.0500	0.0500	— мг
	$e=$	1.205	1.205	1.205	1.210	1.210	1.211	1.211	1.211	1.211 »
	$t_{15}=$	**30.1**	**30.1**	**29.8**	**28.1**	**27.5**	**28.0**	**30.0**	**30.5**	**31.1** сек.
	$D_{15}=$	**1.0275**	**1.0307**	**1.0313**	**1.0332**	**1.0351**	**1.0387**	**1.0344**	**1.0328**	**1.0343**

служили, или 1) медные фунты, поставленные прямо на съемные чашки весов Неметца (тогда груз каждой чашки $p = 409.5 + 106.0$ г), или 2) одна чашка, без переносных пластинок и фунтов (тогда $p = 0$, но в последнем случае устройство весов не позволяет определять k чрез наложение 1 мг издали).

Совокупность полученных данных (табл. 23) сведена далее для того случая, когда навеской служили медные фунты.[1]

	Подушка из						
	закаленной стали	агата	мягкой вольфрамовой стали	латуни	красной меди	бычьего рога	твердого каучука
1 div. [отвечает] (k)	0.043	0.047	0.050	0.063	0.071	0.093	0.193 мг
Время размаха, t_{15}	33.3	31.5	29.8	27.8	25.4	18.2	15.0 сек.
Декремент при $r = 15$ div, D_{15}	1.029	1.032	1.031	1.034	1.065	1.156	1.252

Правильная стройность выводов очевидна: k — *возрастает* (чувствительность уменьшается), *время* одного размаха t_{15} (равного 15 div.) *уменьшается*, а *декремент* D_{15} *возрастает — при замене твердых подушек все более и более мягкими*, т. е. трение ножей изменяет все элементы колебания, *при том же положении центра тяжести* всей движущейся массы.[2] Это показывает, что колебания как

[1] Когда $p = 0$, — данных меньше и они не столь полны (нет k), но их совокупность дает те же выводы, как и для $p = 515.5$. Особыми опытами следует убедиться и здесь во влиянии общего груза P на D и t. Опыты этого рода намечены, но еще не было времени их выполнить. Их предположено произвести на весах Рупрехта (для 75 кг).

[2] Иначе сказать: коромысло весов, маятник или иной предмет, снабженный призмою, на ребре которой происходят колебания этого предмета, — не свободны в своих движениях. От трения ребра призмы о подставку центр тяжести как бы удаляется. Это, повидимому, можно было бы доказать опытным путем, определяя для коромысла весов истинное положение центра тяжести (но такую пробу я еще не успел сделать). Может быть даже, что при установке на большую чувствительность центр тяжести самого по себе коромысла лежит уже не ниже, а выше так называемой точки опоры или острия призмы, так как трение как бы удаляет центр тяжести. Принимая округленность ребра призмы (что фактически, вероятно, и существует), можно и в статических данных найти

весов, так и всяких маятников зависят не только от отношения моментов инерции к статическому, да от сопротивления среды, но и от момента трения, т. е. от качеств ножа и подставки под ним. Для определения этого последнего (т. е. трения ножа) недостает современных сведений ни о величине трения в случае колебания острия ножа (призмы) на подставке, ни о плече, на которое действует эта сила. Полагать надо, что здесь большую роль играют два обстоятельства. Во-первых, те упругие (не остающиеся) деформации, которые совершаются при колебаниях в острие ножа и в подставке,[1] и, во-вторых, форма (закруг-

---

некоторое объяснение этого понижения центра тяжести при колебаниях, так как тогда происходит не колебание около острия, а катание на округленности ребра по плоскости подставки. Но истинное объяснение все же должно искать в динамических явлениях, происходящих при колебаниях как в призме, так и в площадке, на которую опирается призма, и в условия колебания весов (равно и маятников) вводить определения центра качания. Несомненным кажется и то, что при колебаниях происходит, сверх всего, и некоторое скольжение, возбуждаемое боковыми силами (слагающими), которые при перемене свойств подушки или призмы должны изменяться. Словом, вышеприведенные наблюдения и ранее известное заставляют считать «трение ножа на подставке» явлением очень сложным. Я предполагаю, в ряде уже начатых опытных исследований этого вида трения, идти с более подробных определений влияния твердости ножа и подставки, что должно составить предмет особого сообщения.

[1] Упругие деформации, или изменения, происходящие при колебаниях весов или маятников, в ноже и подушке, каковы бы они ни были, теоретически несомненны. Можно думать, что они прямо или косвенно связаны с твердостью и упругостью материалов, из которых сделаны нож и подушка. Что же касается до остающейся деформации, то она может состоять или в притуплении острия ножа, или в остающемся следе на подушке, или, наконец, в упругом последействии, которое изучалось при кручении и в других случаях. Все это подлежит опытному изучению. Часть опытных материалов, сюда относящихся, собрана для маятников трудами Бэли (Baily, 1832) и Деформа (Séances de la Soc. Française de Physique, 1893, стр. 40), но еще многое остается неясным. Практика Главной палаты мер и весов не указывает заметных изменений в чувствительности весов, часто применяемых для взвешиваний, так что о постепенном притуплении острия призм я не могу пока высказаться с определенностью, но должен заметить, что для этого, быть может, наши сроки (с 1893 по 1898 г.) чересчур коротки. Разнообразные данные, приводимые в этом издании, и повторение подобных же исследований в будущем, вероятно, дадут ответ более уверенный. Здесь мы касаемся затем существа сложного вопроса о трении твердых тел, так как по мнению, не раз высказываемому (но мое мнение в этом отношении еще не сложилось), — трение зависит от стирания трущихся частей, а можно взглянуть на него, как на простое взаимодействие соприкасающихся поверхностей, долженствующих (как видим по электрическим и химическим явлениям) представлять свой род молекулярных движений

ленность) острия ножа или призмы. Последнее указано было еще Лапласом и рассматривалось Бесселем при обсуждении качаний маятников.[1] А так как для основательного суждения о том и другом из этих влияний (а еще более о их совокупности) ныне недостает еще опытных данных, то указанные выше данные о значительном влиянии трения на декремент и на время размахов заставляют поставить вопрос на очередь. Однако все известное не позволяет входить в окончательное суждение — без массы новых, возможно точных и разнообразных опытов. Одно становится очевидным: время размахов сильно зависит от трения ножей, оно в наших опытах сократилось

и состояний. По моему мнению, вообще, точное и подробное изучение трения твердых тел представляет множество интересов, но сопряжено с чрезвычайными экспериментальными трудностями, преодоление которых тем завлекательнее, что трение твердых тел имеет прямое приложение в электричестве и во многих отраслях промышленности, особенно в машиностроении.

[1] Бессель в 1826 г. [см.: Collection de Mémoires, relatifs à la Physique, publiés par la Soc. franç. de Physique (mémoires sur les pendules) t.t, IV et V], предполагая сечение округленности острия кривою 2-го порядка, указал зависимость времен качания маятника от элементов, определяющих указанную округленность. Предполагая округленность острия ножа или призмы, должно сводить рассматриваемое трение (сколь бы мал ни был радиус кривизны) на «катящее» и вводить во все расчеты — плечо трения. При своем исследовании Бессель (1828), руководясь замечанием, сделанным Себейном (Sebine), произвел также опыты для определения времен размахов оборотного маятника, опирающегося острием призмы на разные подушки. Когда, например, наибольший груз маятника был внизу, времена одного размаха:

на агатовой подушке были $t = 1.0002455$ сек.
на подушке из закаленной стали $t = 1.0002459$ »

При другом опыте получилось:

на агатовой подушке $t = 1.000305$ сек. (среднее из двух определений).
на подушке из неполированной латуни $t = 1.000219$ » (среднее из трех определений)

Хотя разности t здесь не превосходят иногда десяти миллионных долей секунды, тем не менее, как и в наших опытах, для стали время t более, чем для агата, а для латуни — менее, чем для агата. Отсюда, казалось бы, должно было ясно заключить, что время t зависит от трения при агатовой подушке, как и при всякой иной (и что на закаленной стали оно более, чем на агате), а потому должно было бы ждать исследований, сюда направленных, и их обсуждения при определении длины секундного маятника. Но трудность этого предмета и усилия, направленные при маятниках на сопротивление среды и на влияние колебания подставок, послужили к тому, что указанная часть опытов Бесселя наименее обратила на себя внимание исследователей, занимающихся столь основным прибором, каков маятник. Об трении в ноже говорят, но на него никто до нас не обращал должного внимания.

слишком в 2 раза при переходе от стальной (сильно закаленной) подушки — к мягкой — из твердого каучука, следовательно времена колебания маятников, обыкновенно наблюдаемые на агатовых подушках, должны быть исправлены на трение, но размер необходимой поправки — неизвестен ныне. Его надо искать уже для того, чтобы узнать истинную длину секундного маятника и истинную величину ускорения тяжести, находимую по длине секундного маятника. Это составляет один из выводов наших опытных исследований колебания весов.[1]

На этом замечании я считаю необходимым закончить эту главу, предполагая, если позволят обстоятельства, продолжить опытное исследование над колебаниями весов и введя в круг работ маятники и другие приборы, могущие выяснить общие задачи, выступавшие при изучении колебания весов. Три стороны дела заслуживают, по моему мнению, особенного внимания: закон убыли декрементов с величиною размахов, убыль времен, при этом замечаемая, и трение в опорах. А так как все это входит в задачу об определении напряжения тяжести, и абсолютные данные об этом предмете необходимы в деле, преследуемом Главною палатою мер и весов, в которой совокуплено много условий, необходимых для преследования указанных задач, то исследования, сюда относящиеся, будут, по мере возможности, включены в круг работ Главной палаты мер и весов.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Прием параболического интерполирования 2-го и 3-го порядков при равных промежутках (для x-ов)

При изучении колебания весов, как и во множестве других опытных исследований, очень часто необходимо производить интерполирование по способу наименьших квадратов или для нахождения промежуточных значений, или для сглаживания полученных данных. Работа расчетов, при этом необходимых, не только утомительна, но и отнимает очень много времени, а потому ее часто стараются избе-

---

[1] Опытные исследования, относящиеся до выяснения величины трения ножей и до поправки времен на влияние трения уже начаты мною в Главной палате. Они составят предмет особых мемуаров. Испытывается новый (по колебаниям) способ определения твердости.

гать — иногда в ущерб достоинству выводов.[1] По этой причине считаю уместным привести здесь прием для сокращения расчетов, выработанный мною на основании общеизвестного способа интерполирования П. Л. Чебышева.[2] Прием этот применим к часто встречающемуся случаю равенства промежутков между данными для одной из переменных x, например к случаю колебаний, когда за одну из переменных принимается число n, т. е. размахов или отклонений. Притом ограничиваюсь случаем, когда интерполированием находятся вероятнейшие коэффициенты параболы не более как 3-го порядка:

$$y = A + Bx + Cx^2 + Dx^3, \qquad (I)$$

так как идти далее в интерполяционных расчетах приходится очень редко и, судя по моей практике, очень мало удобно[3] и выгодно. Сверх того, в прилагаемых таблицах число наблюдений, принимаемых для исхода, я ограничиваю 25, так как при еще большем числе данных весьма мало вероятности, чтобы погрешность отсчета y-ов была на всем протяжении x-ов одинаковою или почти одинакова, а тогда лучше разбить расчеты на части, для которых можно принять вероятную погрешность всех y-ов одинаковою, что лежит в основе способа наименьших квадратов.

Прием сводится к тому, что промежуток x-ов приводится к некоторому определенному числу (1 или 2) и начало

---

[1] Но я считаю не безупречным общепринятое приложение способа наименьших квадратов ко всяким рядам наблюдений, а потому иногда прибегаю к другим способам. Однако предмет этот, в некоторых отношениях не маловажный, считаю неуместным здесь для более подробного развития.

[2] Способ Чебышева, излагаемый во многих сочинениях по теории вероятностей, практически приложен мною в моем исследовании «О соединении спирта с водою» (1865, стр. 89). Его также прилагал в своих баллистических исследованиях генерал Маевский, но, сколько мне известно, все же он недостаточно общеизвестен, хотя представляет неоценимые достоинства. Излагаемое в этом «Приложении» есть не что иное, как крайнее возможное упрощение способа наименьших квадратов — в случае «равных промежутков», тогда как способ П. Л. Чебышева составляет прием для упрощения расчетов по способу наименьших квадратов — при всяких промежутках. Сделанное мною сводится к тому, что коэффициенты параболы выражаются в постоянных, зависящих от числа данных, что упрощает расчеты.

[3] Когда парабола 3-го порядка оказывается недостаточною (т. е. когда при ней расчет отступает от наблюдения более, чем на величину возможных погрешностей) и ряд данных велик, тогда лучше разбить все данные на части и рассчитывать их порознь — иначе одни погрешности и ошибки счета делают интерполяцию мало надежною.

координат для x-ов относится к их средине. Здесь отличим два случая: когда число данных (v) нечетное или (w) четное.

1) *Число данных v нечетное*, а именно $v=2m+1$, где m есть целое. Следовательно, дано v переменных y и z:

$$\begin{array}{ll} y_i = & y_{-m}\ \ y_{1-m}\ \ y_{2-m}\ \ \cdots\ \ y_{-1}\ \ y_0\ \ y_1\ \ \cdots\ \ y_{m-2}\ \ y_{m-1}\ \ y_m \\ \text{при } z_i = & z_{-m}\ \ z_{1-m}\ \ z_{2-m}\ \ \cdots\ \ z_{-1}\ \ z_0\ \ z_1\ \ \cdots\ \ z_{m-2}\ \ z_{m-1}\ \ z_m \end{array}$$

Назовем чрез p разность двух соседних z_i; она постоянна — по условию равенства промежутков. Примем затем

$$x_i = \frac{z_i - z_0}{p},$$

тогда вместо предшествующего ряда z-ов получится ряд x-ов, которые между собою будут отличаться на единицу, а именно получится v значений x-ов:

$$\begin{array}{lllllllllllll} x= & -m & 1-m & 2-m & \cdots & -3 & -1 & 0 & +1 & 3 & \cdots & m-2 & m-1 & m \\ \text{или} & \frac{1-v}{2} & \frac{3-v}{2} & \frac{5-v}{2} & \cdots & -3 & -1 & 0 & +1 & 3 & \cdots & \frac{v-5}{2} & \frac{v-3}{2} & \frac{v-1}{2} \end{array}$$

Если мы найдем затем по интерполированию значения A, B, C, и D в I-й формуле, то, подставляя вместо x значения z по условию:

$$x = \frac{z - z_0}{p},$$

получим искомое интерполяционное выражение для y-ов по z. Следовательно, задача сводится на нахождение A, B, C и D по v данным x_i и y_i.

Для этого должно каждое y_i помножить на соответственное x_i; это произведение $x_i y_i$ еще раз умножить на свое x_i, чтобы получить $x_i^2 y_i$ и еще раз повторить то же для получения $x_i^3 y_i$. Полученные таким образом числа следует суммировать (обращая, конечно, внимание на знаки), чтобы получить суммы, означенные далее (для удобства печати) квадратными скобками, а именно:

$$[y] = \sum y_i;\ [xy] = \sum x_i y_i;\ [x^2 y] = \sum x_i^2 y_i \text{ и } [x^3 y] = \sum x_i^3 y_i$$

Когда эти суммы найдены, тогда по прилагаемой табл. 1 получаются вероятнейшие значения A, B, C и D в I формуле. Так как x_i-ы, по вышеуказанному, суть целые числа от $-m$ до 0 и до $+m$, то умножение их на y_i-ки произво-

Таблица 1

Значение коэффициентов в интерполяционном равенстве

$y = A + Bx + Cx^2 + Dx^3$, когда число данных v нечетное, соседние x-ы различаются на единицу и среднее данное $x = 0$

Число данных $v = 2m + 1$	A	B	C	D
3	$\frac{[y]}{3} - \frac{2}{3}C$	$\frac{[xy]}{2}$	$\frac{[x^2y] - \frac{2}{3}[y]}{0.666\ldots}$	
5	$\frac{[y]}{5} - 2C$	$\frac{[xy]}{10} - 3.4D$	$\frac{[x^2y] - 2[y]}{14}$	$\frac{[x^3y] - 3.4[xy]}{14.4}$
7	$\frac{[y]}{7} - 4C$	$\frac{[xy]}{28} - 7D$	$\frac{[x^2y] - 4[y]}{84}$	$\frac{[x^3y] - 7[xy]}{216}$
9	$\frac{[y]}{9} - \frac{20}{3}C$	$\frac{[xy]}{60} - 11.8D$	$\frac{[x^2y] - \frac{20}{3}[y]}{308}$	$\frac{[x^3y] - 11.8[xy]}{1425.6}$
11	$\frac{[y]}{11} - 10C$	$\frac{[xy]}{110} - 17.8D$	$\frac{[x^2y] - 10[y]}{858}$	$\frac{[x^3y] - 17.8[xy]}{6177.6}$
13	$\frac{[y]}{13} - 14C$	$\frac{[xy]}{182} - 25D$	$\frac{[x^2y] - 14[y]}{2002}$	$\frac{[x^3y] - 25[xy]}{20592}$
15	$\frac{[y]}{15} - \frac{56}{3}C$	$\frac{[xy]}{280} - 33.4D$	$\frac{[x^2y] - \frac{56}{3}[y]}{4125.33\ldots}$	$\frac{[x^3y] - 33.4[xy]}{57283.2}$
17	$\frac{[y]}{17} - 24C$	$\frac{[xy]}{408} - 43D$	$\frac{[x^2y] - 24[y]}{7752}$	$\frac{[x^3y] - 43[xy]}{139536}$
19	$\frac{[y]}{19} - 30C$	$\frac{[xy]}{570} - 53.8D$	$\frac{[x^2y] - 30[y]}{13566}$	$\frac{[x^3y] - 53.8[xy]}{306979.2}$
21	$\frac{[y]}{21} - \frac{110}{3}C$	$\frac{[xy]}{770} - 65.8D$	$\frac{[x^2y] - \frac{110}{3}[y]}{22432.66\ldots}$	$\frac{[x^3y] - 65.8[xy]}{622987.2}$
23	$\frac{[y]}{23} - 44C$	$\frac{[xy]}{1012} - 79D$	$\frac{[x^2y] - 44[y]}{35420}$	$\frac{[x^3y] - 79[xy]}{1184040}$
25	$\frac{[y]}{25} - 52C$	$\frac{[xy]}{1300} - 93.4D$	$\frac{[x^2y] - 52[y]}{53820}$	$\frac{[x^3y] - 93.4[xy]}{2131272}$

дится легко, особенно если v не более 21, т. е. m не более 10, что очень упрощает счет. Если отыскивается не парабола 3-го порядка, а 2-го, т. е. принимается $D=0$, очевидно, что нет надобности находить $[x^3y]$ или $\Sigma x_i^3 y_i$. Еще более упрощается дело, когда отыскиваются коэффициенты линейного выражения ($y=A+Bx$), потому что тогда принимается $C=0$ и $D=0$, а для нахождения A и B тогда достаточно счет Σy_i и $\Sigma x_i y_i$. Если же C и D определяются, то они отыскиваются ранее, чем A и B, потому что определяют величину последних.

В виде примеров могут служить многие случаи расчетов подобного рода, встречающихся в предшествующем изложении, но все же считаю не излишним привести один пример для разъяснения тех удобств, какие дает предложенный здесь прием.

Возьмем сглаженные данные n° 958 (стр. 532, табл. 7):

$n=$	6	11	16	21	26
$r=$	17.79	13.87	10.78	8.38	6.59

Примем затем, по условию и для упрощения расчетов

$$x=\frac{n-16}{5} \text{ и } y=(\log r-0.81889)\,100\,000.^1$$

Тогда весь предварительный расчет ограничивается прилагаемым рядом значений y, xy, x^2y, x^3y и их сумм:

x	y	xy	x^2y	x^3y
−2	43129	−86258	+172516	−345032
−1	32319	−32319	+ 32319	− 32319
0	21373	0	0	0
+1	10435	+10435	+ 10435	+ 10435
2	0	0	0	0
Суммы: .	$[y]=+107256$	$[xy]=-108142$	$[x^2y]=+215270$	$[x^3y]=-366916$

[1] Число 0.81889 есть log наименьшего r, т. е. log 6.59. Вычитая его из всех log r, упрощаем число действий, так как одно из y становится $=0$. Умножая разность log на 100 000, достигаем того, что вместо дробных количеств имеем все y в виде целых.

По табл. 1 теперь получаем, руководствуясь строкою, для которой v (число данных) $= 5$:

$$C = \frac{215270 - 2 \cdot 107256}{14} = +54.1$$

и

$$D = \frac{-366916 - 3.4(-108142)}{14.4} = +53.25,$$

а отсюда

$$A = \frac{107256}{5} - 2 \cdot 54.1 = +21343.0$$

и

$$B = \frac{-108142}{10} - -3.4 \cdot 53.25 = -10995.25.$$

Поэтому

$$y = 21343 - 10995.25\,x + 54.1\,x^2 + 53.25\,x^3.$$

Если бы отыскивалась парабола 2-го порядка ($D = 0$), то

$$y = 21343 - 10814.2\,x + 54.1\,x^2,$$

а если бы условия наблюдений требовали найти лишь вероятнейшее прямолинейное выражение,[1] то ($C = 0$ и $D = 0$)

$$y = 21451.2 - 10814.2\,x.$$

Чрез подставку значений, x и y, получаем, например, в последнем случае:

$$\log r = 1.033402 - 0.108142\,x = 1.379456 - 0.0216284\,n,$$

или

$$r = \frac{23.958}{1.05106^n}.$$

2) *Число данных w четное.* Дано, например:

y_i	$\cdots$	y_{1-w}	y_{3-w}	$\cdots$	y_{-3}	y_{-1}	y_1	y_3	$\cdots$	y_{w-3} y_{w-1}
при z_i	$\cdots$	(z_{1-w})	(z_{3-w})	$\cdots$	z_{-3}	z_{-1}	z_1	z_3	$\cdots$	z_{w-3} z_{w-1}

Означая опять постоянную разность $z_i - z_{i-1}$ чрез p и принимая

$$x_i = \frac{2z_i - (z_{-1} + z_1)}{p},$$

[1] Т. е., в данном случае, принимая декремент во всех колебаниях постоянным, так как тогда $\log r = A + Bn$ и $y = a + bx$.

получим ряд x-ов:

x_i ... (1—w) (3—w) ... (—5) (—3) (—1) (+1) (3) (5) ... (w—3) (w—1).

Очевидно, что все x-ы тогда представят ряд нечетных чисел, сперва отрицательных от $(1-w)$ до -1, а потом положительных от $+1$ до $(w-1)$. Тогда должно пользоваться табл. 2.

Например дано (стр. 510, п° 936):

$n_i =$	3	5	7	9	11	13
$r_i =$	47.11	41.36	36.35	32.27	28.74	25.72

Принимая

$$x_i = \frac{2n_i - 16}{2} \quad \text{и} \quad y_i = r_i - 25.72,$$

по табл. 2 получаем для параболы 3-го порядка

$$y = 8.519 - 2.074\,x + 0.08737\,x^2 - 0.00265\,x^3,$$

а отсюда, например для $n=3$, т. е. для $x=-5$, получаем

$$y = 21.404 \text{ или } r = 47.124.$$

Таким образом, если значения одной из наблюдаемых переменных (x) даны чрез равные промежутки, то по табл. 1 и 2 легко находить вероятнейшие коэффициенты (отвечающие способу наименьших квадратов) параболических выражений 1-го, 2-го и 3-го порядков, если число наблюдений не более 25. Если же оно более, то можно воспользоваться найденными мною формулами, где коэффициенты A, B, C и D выражены в зависимости от числа данных (v или w), а именно: 1) если число данных v нечетное и x-ы суть 0 и $\pm 1, 2, 3\ldots \frac{v-2}{2}, \frac{v-1}{2}$ (всего числом v), то в уравнении

$$y = A + Bx + Cx^2 + Dx^3$$

$$A = \frac{\sum y_i}{v} - \frac{v^2-1}{12}\,C,$$

$$B = \frac{\sum x_i y_i}{\frac{1}{12}\,v\,(v^2-1)} - \frac{3v^2-7}{20}\,D,$$

$$C = \frac{\sum x_i^2 y_i - \frac{1}{12}(v^2-1)\sum y_i}{\frac{1}{180}\,v\,(v^2-1)(v^2-4)}$$

Таблица 2

Значение коэффициентов в интерполяционном равенстве

$y = A + Bx + Cx^2 + Dx^3$, когда число данных (w) четное, соседние x-ы отличаются на 2, и первое $= 1 - w$, последнее же $= w - 1$

Число данных: $w = 2m$	A	B	C	D
4	$\frac{[y]}{4} - 5C$	$\frac{[xy]}{20} - 8.2D$	$\frac{[x^2y] - 5[y]}{64}$	$\frac{[x^3y] - 8.2[xy]}{115.2}$
6	$\frac{[y]}{6} - \frac{35}{3}C$	$\frac{[xy]}{70} - 20.2D$	$\frac{[x^2y] - \frac{35}{3}[y]}{597.33\ldots}$	$\frac{[x^3y] - 20.2[xy]}{4147.2}$
8	$\frac{[y]}{8} - 21C$	$\frac{[xy]}{168} - 37D$	$\frac{[x^2y] - 21[y]}{2688}$	$\frac{[x^3y] - 37[xy]}{38016}$
10	$\frac{[y]}{10} - 33C$	$\frac{[xy]}{330} - 58.6D$	$\frac{[x^2y] - 33[y]}{8448}$	$\frac{[x^3y] - 58.6[xy]}{197683.2}$
12	$\frac{[y]}{12} - \frac{143}{3}C$	$\frac{[xy]}{572} - 85D$	$\frac{[x^2y] - \frac{143}{3}[y]}{21354.66\ldots}$	$\frac{[x^3y] - 85[xy]}{741312}$
14	$\frac{[y]}{14} - 65C$	$\frac{[xy]}{910} - 116.2D$	$\frac{[x^2y] - 65[y]}{46592}$	$\frac{[x^3y] - 116.2[xy]}{2240409.6}$
16	$\frac{[y]}{16} - 85C$	$\frac{[xy]}{1360} - 152.2D$	$\frac{[x^2y] - 85[y]}{91392}$	$\frac{[x^3y] - 152.2[xy]}{5804697.6}$
18	$\frac{[y]}{18} - \frac{323}{3}C$	$\frac{[xy]}{1938} - 193D$	$\frac{[x^2y] - \frac{323}{3}[y]}{165376}$	$\frac{[x^3y] - 193[xy]}{13395456}$
20	$\frac{[y]}{20} - 133C$	$\frac{[xy]}{2660} - 238.6D$	$\frac{[x^2y] - 133[y]}{280896}$	$\frac{[x^3y] - 238.6[xy]}{28242086.4}$
22	$\frac{[y]}{22} - 161C$	$\frac{[xy]}{3542} - 289D$	$\frac{[x^2y] - 161[y]}{453376}$	$\frac{[x^3y] - 289[xy]}{55376640}$
24	$\frac{[y]}{24} - \frac{575}{3}C$	$\frac{[xy]}{4600} - 344.2D$	$\frac{[x^2y] - \frac{575}{3}[y]}{701653.33\ldots}$	$\frac{[x^3y] - 344.2[xy]}{102301056}$

и

$$D=\frac{\sum x_i^3 y_i-\frac{1}{20}(3v^2-7)\sum x_i y_i}{\frac{1}{2800}v(v^2-1)[(v^2-1)(v^2-12)+24]}.$$

2) Если же число данных w *четное* и x-ы суть $\pm 1, 3, 5\ldots$ $\ldots(w-3),(w-1)$ (всего числом w), то в том же уравнении

$$A=\frac{\sum y_i}{w}-\frac{w^2-1}{3}C,$$

$$B=\frac{\sum x_i y_i}{\frac{1}{3}w(w^2-1)}-\frac{3w^2-7}{5}D,$$

$$C=\frac{\sum x_i^2 y_i-\frac{1}{3}(w^2-1)\sum y_i}{\frac{4}{45}w(w^2-1)(w^2-4)}$$

и

$$D=\frac{\sum x_i^3 y_i-\frac{1}{5}(3w^2-7)\sum x_i y_i}{\frac{4}{175}w(w^2-1)[(w^2-1)(w^2-12)+24]}.$$

Приводя вышеуказанные таблицы и общие формулы для интерполяции при равных промежутках x-ов, я имел в виду не только облегчить расчеты тем, кому придется в подобных случаях пользоваться способом наименьших квадратов, но и указать тот прием, каким разочтены многие данные наших наблюдений, где в большинстве случаев легко можно избирать данные на равных расстояниях по одной из переменных. Без указанных приемов труд расчетов по способу наименьших квадратов был бы столь велик, что от него пришлось бы поневоле отказаться.

ВЫВОДЫ

Из наблюдений, произведенных в Главной палате мер и весов (1897—1898 гг.), принимая во внимание:

а) что декремент D колебаний, т. е. отношение двух друг за другом следующих размахов R [1] или отклонений r [2] определяется из равенства

$$\log D_n = -\frac{\partial(\log r_n)}{\partial(n)} \qquad (A)$$

или из отношения r_{n-m} к r_{n+m} до и после данного r_n — по уравнению

$$D_n = \sqrt[2m]{\frac{r_{n-m}}{r_{n+m}}}; \qquad (B)$$

б) что обыкновенно для данного колебания декремент принимается величиною постоянною, т. е. не зависящею от величины амплитуды;

в) что, определяя декремент по двум единичным, друг за другом следующим, отклонениям r_n и r_{n+1}:

$$D = \frac{r_n}{r_{n+1}},$$

будем иметь погрешность декремента Δ, в зависимости от погрешности δ отсчета элонгаций и от $\delta'(L)$, т. е. от погрешности в определении равновесия:

$$\Delta = \delta\frac{D(1+D)}{2r} + \delta'(L);$$

[если] же определя[ть] D по (A) или по (B), [то] погрешность Δ будет тем меньше, чем более будет область отсчетов, принятых во внимание;

г) что средняя погрешность δ отсчетов по шкале точных килограммовых весов Рупрехта и Неметца, преимущественно применяемых Главною палатою для взвешиваний и для изучения колебаний, не превосходит ± 0.07 div., или ± 3 сек. по дуге круга, причем личная погрешность наблюдателей (изученная для наблюдений, производившихся Ф. П. Завадским и В. Д. Сапожниковым, которые вели большинство отсчетов) почти одинакова;

д) что, сверх неизбежных [3] погрешностей отсчетов δ, при наблюдении отдельных элонгаций замечаются иногда временные «пертурбации», или

---

[1] Размахом R, или двойною амплитудою названа разность двух, друг за другом следующих, отсчетов шкалы: $R = l_n - l_{n+1}$.

[2] Отклонением r, или амплитудою названа разность $r_n = (L - l_n)(-1)^n$ между отсчетом равновесия L и отсчетом элонгации l, или обратно, смотря по абсолютной их величине. R почти $= 2r$. Обе величины (R и r) всегда принимаются положительными.

[3] Полная объективность (регистрирование) отсчета времен и элонгаций не могла быть до сих пор выполнена в Главной палате для весов, но при наблюдении колебания маховиков и маятников она уже осуществлена в большей или меньшей мере, как будет сообщено при описании дальнейших наблюдений над колебаниями.

небольшие уклонения от правильного хода явления, происходящие, по всей вероятности, от внешних влияний и открываемые при сравнении полусуммы $r_{n-1}+r_{n+1}$ с промежуточным отклонением r_n,

и е) что сложные расчеты, сопряженные с выводом изменения декрементов и времен размахов — с переменою отклонений и всяких обстоятельств взвешивания, производились и поверялись обыкновенно по способу наименьших квадратов, в том его видоизменении, которое объяснено в «Приложении» к этой главе,[1] — можно сделать следующие выводы:

1) Времена одного размаха, t,[2] и декременты D[3] не остаются постоянными при колебании весов в данных условиях, а уменьшаются вместе с уменьшением размахов R или отклонений r.[4]

2) Убыль (с уменьшением r) времен t размаха совершается всегда во много раз быстрее, чем можно ждать по общеизвестной (быстро сходящейся) строке, выражающей изменение времен размаха маятника в зависимости от дуги отклонений α:

$$t=\pi\sqrt{\frac{l}{g}}\left[1+\frac{1}{4}\sin^2\frac{\alpha}{2}+\frac{9}{64}\sin^4\frac{\alpha}{2}+\ldots\right],$$

например, в n° 928 $t=31.7$ сек. при $r=34$ div. ($=635$ сек. по дуге), а при $r=12.3$ div. ($=230$ сек. по дуге) $t=30.3$ сек., т. е. времена относятся как 1.046 : 1, по общепринятой же формуле можно было ждать отношения 1.0000006 : 1.

3) Для ограниченного числа (например до 100) малых (по дуге) размахов[5] можно в первом приближении, считать

$$t_n=\frac{t_0}{\beta^n},$$

где t_0 есть длительность начального размаха, а β есть величина (подобная декременту), превосходящая единицу (в наших наблюдениях β изменялась от 1.0001 по 1.0010).

4) Если абсолютное время начального размаха означить T_0, то время n-того размаха можно в первом приближении выразить формулою

$$T_n=Q-M\beta^{-n},\quad\text{где}\quad M=\frac{t_0}{\ln\beta}\quad\text{и}\quad Q=M+T_0.$$

5) При равенстве прочих условий взвешивания (как то: чувствительности, навески, температуры и т. п.) декремент весовых колебаний, D,

---

[1] См. стр. 637—645.

[2] В исследованных весах t, при размахе в 15 div., было от 8 (весы Горячева на 1 фунт) до 48 (весы Рупрехта на 1 кг) сек.

[3] Декремент для испытанных весов был от 1.01 до 1.08. Так как колебания тухнут, то D всегда более единицы.

[4] Обыкновенно же принимается, как для маятников, что при данном колебании весов времена и декременты остаются постоянными.

[5] Но не для беспредельно большого числа колебаний. Лучше было бы выразить зависимость t от r или от угла отклонения (а не от счета колебаний n), но так как при наблюдении колебания весов нельзя значительно увеличивать (например до дуги в несколько градусов) отклонения r, то выражение t как функции r я отлагаю до того времени, когда соберу достаточное число данных для колеблющихся маховиков.

уменьшается[1] с уменьшением отклонений r так, что, в пределе возможных погрешностей, можно принять:

$$D_n = d + \alpha r_n,$$

где d есть декремент (не подлежащий прямому наблюдению) при бесконечно малых размахах и $\alpha = \frac{\partial(D)}{\partial(r)}$. В наших исследованиях α оказалась изменяющейся от 0.0002 до 0.0012, смотря по различию в весах и в условиях взвешиваний, а d от 1.01 до 1.06 (при обычных для точных килограммовых весов — чувствительностях, призмах и подушках, на которых происходят колебания).

6) Называя начальное ($n = 0$) отклонение чрез r_0, для n-того, в пределе точности наблюдений, можно принять

$$r_n = \frac{1}{Kd^n - N}, \quad \text{где} \quad K = N + \frac{1}{r_0} \quad \text{и} \quad N = \frac{\alpha}{d - 1}.$$

7) Так как, [при] нач[але] отсчет[ов[всегда с наибольшей (положительной) элонгации l_1, n-тая элонгация

$$l_n = L + (-1)^{n-1} r_n,$$

то 4 отсчета совершенно определяют положение равновесия L,[2] которое, судя по предшествующему, с полною точностью (далеко в пределе возможных погрешностей, см. § 18) может рассчитываться по выражению (принятому почти всюду при точных взвешиваниях):

$$L = \frac{1}{8}(l_1 + 3l_2 + 3l_3 + l_4).$$

Погрешности отсчетов еще лучше сглаживаются, если равновесие определяется из 5 элонгаций:

$$L = \frac{1}{16}(l_1 + 4l_2 + 6l_3 + 4l_4 + l_5).$$

8) Для сокращения времени взвешивания, можно находить равновесие по отсчету 3 элонгаций, не выходя из предела возможных ныне точностей (до тысячных долей миллиграмма), если расчет производить по равенству

$$L = \frac{1}{4}\left(l_1 + 2l_2 + l_3 - \frac{(l_1 - l_3)^2}{l_1 - 2l_2 + l_3}\right).$$

---

[1] Такой же вывод об уменьшении D дают произведенные мною расчеты для лучших наблюдений, произведенных с маятниками (например, Бесселем, Бэли и др.). Явное уменьшение D получается также в наших наблюдениях над маховиками и в наблюдениях над колебаниями корабля (Duhil de Bénazé et Risbec, 1874) и их моделей (Н. А. Смирнов, 1898), так что есть много оснований думать, что декремент колебаний непостоянен и везде изменяется так же, как найдено нами для весов (см. также 468—469). Все это будет изложено в особом мемуаре.

[2] Так как r_n определяется тремя неизвестными постоянными (r_0, d и α) и L есть четвертое неизвестное.

9) Если декремент известен (т. е. ранее выведен из особых наблюдений), то можно, с достаточною в обычных условиях точностью, рассчитывать равновесие из двух отсчетов по формуле

$$L = \frac{l_1 + Dl_2}{D + 1},$$

что может иногда служить не только для сокращения времени, но и для увеличения точности результата системы взвешиваний, если в весах могут совершаться разные (температурные и тому подобные) изменения.

10) Если, при помощи перестановочной гирьки, положение центра тяжести коромысла изменяется и чрез то изменяется k (число миллиграммов, отвечающее 1 делению шкалы, или реципрок «чувствительности весов»), то — с уменьшением k — время одного размаха t и декремент D всегда увеличиваются (при данных весах, r и прочих условиях).

11) При увеличении нагрузки чашек, когда (от гнутия коромысла) k (всегда) увеличивается, в одних весах (например в наших весах Рупрехта, поднимающих до 1 кг) t и D возрастают (при равенстве прочих условий), в других (например в наших весах Колло, поднимающих до 40 кг) t и D уменьшаются, в иных же весах происходит смешанное явление (например D сперва возрастает, потом падает, или D падает, а t возрастает) — при тех же отклонениях r.

12) Последовательность таких изменений нарушается при снятии подвесок для чашек. Тогда (вследствие устранения трения на боковых призмах) не только k уменьшается, но и всегда t и D уменьшаются (даже для весов Колло, хотя для них с уменьшением нагрузки чашек происходит обратное).

13) Когда, выкачиванием, в 6—12 раз уменьшается плотность воздуха, в котором происходит колебание весов, время t одного размаха (при определенной величине r) изменяется очень мало, но декремент явно уменьшается.

14) Колебания весов в атмосфере водорода — при обыкновенном давлении — совершаются не так, как в воздухе при разрежении его до той же плотности, а декремент уменьшается еще более, так что изменение внутреннего трения среды (оно для водорода почти в 2 раза менее, чем для воздуха одинаковой плотности) производит заметное влияние. Изменение плотности влияет так, что $D - 1$ уменьшалось бы на 20—25% при переходе от воздуха под обыкновенным давлением (e около 1.2 мг) к пустоте ($e = 0$), если бы внутреннее трение не изменялось. При уменьшении же его в 2 раза происходит в $D - 1$ еще раз такое же уменьшение примерно на 20—25%.

15) Увеличение горизонтальной проекции (мидельной плоскости) взвешиваемых предметов удлиняет время t и увеличивает декремент D — при прочих (для r, k, e и др.) равных условиях. Увеличение объема взвешиваемых предметов или изменение их формы, увеличивающее сопротивление (без увеличения миделя), не оказывает заметного влияния на t и, если увеличивает D, то в очень малой мере.

16) Тот вид трения, который существует (в весах, маятниках и т. п.) между острием ножа (призмы) и подставкою, на которую он опирается, несомненно, влияет не только на декремент, D, колебаний, но и на чувствительность весов, k, а также и на время, t, одного размаха, как видно из того, что при всех прочих тех же условиях взвешивания (как то: весы, нагрузка, r, e, положение гирьки, изменяющей расстояние центра тяжести от точки опоры, и т. п.), уменьшение твердости подушки под средним ножом весов (закаленная сталь, агат, мягкая сталь, латунь, медь, рог

и твердый каучук) в наших опытах этого рода (они ныне продолжаются в Главной палате) повлекло за собою перемену в k от 0.043 до 0.193 мг, в t от 33.3 до 15.0 сек. и в D от 1.029 до 1.252.

17) Зависят ли эти изменения от округленности острия ножа или от различия в деформации (происходящей вследствие давления груза) ножа и подставки, или еще от каких-либо причин (прилипания и т. п.), во всяком случае нельзя думать, что этого нет при обычном устройстве (в весах, маятниках и т. п.) ножа и подставки из стали и агата (кварца, кремня и т. п.), а потому в определении не только декрементов, но и времен размахов явно участвует трение ножей.

18) Поэтому в определении напряжения тяжести, g, и длины секундного маятника должно делать поправку на трение ножа. Эта поправка должна увеличивать время одного размаха, а потому длина секундного маятника — при исключении трения ножа — должна быть короче, а g менее, чем ныне общепринято, потому что ныне на трение ножа поправки не делается.

19) Изменение декремента в большинстве случаев явно и тесно связано с изменением времен размаха, а так как перемены в декременте легко определяются, и при их изменении можно ждать перемен во временах, то при определении времен размахов всегда полезно точно определять декременты.

27 августа 1898 г. *Д. Менделеев.*

Глава вторая*

ОПИСАНИЕ ВЕСОВ, ПРИМЕНЕННЫХ ПРИ ВОЗОБНОВЛЕНИИ ПРОТОТИПОВ

Из весов, имеющихся в Главной палате, служили при возобновлении прототипа русского фунта и других образцовых гирь семь весов, описываемых в этой главе.

а) Весы Рупрехта для взвешивания до 1 кг, № 1

§ 1. Весы, обозначаемые № 1, изготовлены в 1895 г. А. Рупрехтом в Вене, с механизмом проф. М. Ф. Арцбергера для перемещения гирь с чашки на чашку. Весы эти устроены по типу весов, существующих в Международном бюро в Париже, исполненных А. Рупрехтом совместно с Г. Шарес и описанных в I томе «*Travaux et Mémoires du Bureau International des Poids et Mesures*» (стр. D. 53 — D. 58). Описание первой модели весов этой системы помещено в «Verhandlungen des naturf. Vereines in Brunn» (т. XIV, 1875) и в «Dinglers Journal» (т. CCXIX, 1876). Ввиду сего в настоящей статье будет указано лишь общее устройство весов Палаты № 1 и преимущественно те особенности, коими они отличаются от весов Международного бюро.[1]

Коромысло весов № 1 изготовлено из позолоченой латуни. Подушки агатовые, ножи стальные. Составные боковыя подвески для чашек переносят вес чашек и лежащих

* Можно предполагать, что глава 2-я написана преимущественно (и особенно, начиная с § 2) кем-либо из ближайших помощников Д. И. Менделеева, но, во всяком случае, по его прямым указаниям и при его деятельном редактировании. [*Прим. ред.*].

[1] Главнейшие особенности состоят в устройстве Главною палатою приспособлений: 1) для определения чувствительности весов; 2) для получения в зрительной трубе неподвижного изображения отраженной шкалы; 3) для производства весовых наблюдечий из другой комнаты и 4) для отсчета термометра в весах и психрометра, около них помещенного. Все это далее описывается.

на них гирь на средину боковых подушек коромысла посредством расположенных в разных плоскостях особых призм и подушек. Арретир коромысла и боковых подушек обыкновенный, вертикально-поступательный, с направляющей внутри колонны, которая служит основанием для подушки средней призмы коромысла. Арретир чашек не зависит от арретира коромысла и составляет часть механизма проф. Арцбергера, устроенного в весах № 1 точно так, как в весах Международного бюро. Отсчет колебаний коромысла можно производить двумя способами. Для грубых отсчетов имеются на обоих концах коромысла стальные стрелки и возле них шкалы. Точные же отсчеты производятся посредством отраженной зеркалом шкалы. Для этого сверху коромысла, посредине, укреплено на нем горизонтальное плоское зеркало, а над зеркалом, на колонне весов, укреплена неподвижно призма с полным внутренним отражением, перед которою, на расстоянии около $3^1/_2$ м, помещена, параллельно длине коромысла, шкала, привинченная к штативу зрительной трубы. В зрительной трубе получается отраженное призмою и зеркалом изображение шкалы.

Механизм Арцбергера, устроенный в весах № 1, дозволяет производить сравнение гирь между собою одинаково удобно как по способу Гаусса, так и по способу Борда со значительного расстояния от весов, до 4 м, и даже из другой комнаты, как это практикуется в Главной палате. Точность же замены одной гири другою, на любой чашке весов, при сравнении гирь по способу Борда больше точности замены гирь при переноске их с чашки на чашку при сравнении гирь по способу Гаусса, так как при первом способе сравнения, во время переноски гири на запасную платформу и обратно с запасной платформы на чашку, участвует одна и та же переносная крестовина, при втором же способе взвешивания участвуют обе переносные крестовины. Вследствие этого неравенство расстояний середин чашек от осей вращения переносных крестовин, а также несимметричность положения оси вращения запасных платформ относительно осей крестовин служат причиною эксцентрического положения гирь на чашках после их переноски с чашки на чашку по способу Гаусса.

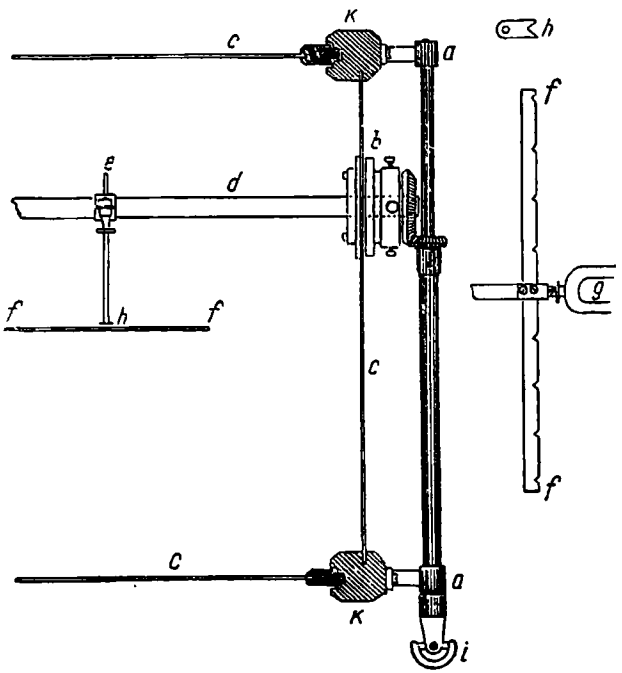
Центрировка гирь на чашках производится с помощью переносного механизма проф. Арцбергера следующим образом: поставив гирю на чашки, опускают арретир сих последних и затем гири снимают со свободно висящих чашек посредством переносных крестовин. Если при этом освобо-

женные от гирь чашки качнутся, то, посредством арретира, их успокаивают и на неподвижно висящие чашки опускают находящиеся на крестовинах гири. Повторением описанной манипуляции достигается совпадение на одной вертикальной линии центров тяжестей гирь и чашек.

Углы отклонений коромысла при его колебаниях — элонгации (l) — измеряются числом делений отраженной шкалы, наблюдаемой из другой комнаты в зрительную трубу. Постоянною линиею, относительно которой производится счет делений шкалы, служит не волосок окуляра зрительной трубы, как то делается очень часто, а одно из делений той же шкалы (155-е, продолженное во всю ширину ее), вторично отраженной в трубу особыми зеркалом и призмою, прикрепленными неподвижно к стенкам ящика весов, снаружи ящика. Этим способом устраняется влияние на правильность отсчета изменения положения зрительной трубы, могущего произойти во время полного взвешивания.

Значение 1 дивизиона (1 div.) определяется посредством накладывания из другой комнаты, на расстоянии около 4 м от весов, на одну из чашек весов гирьки в виде особого крючка, весом в 1 мг, во время колебания коромысла. Для достижения этого, в весах № 1, применено следующее приспособление: на выступающем из ящика весов *ckckc* конце стержня *d* (черт. 1), расположенного внутри ящика параллельно длине коромысла, возле муфты *b* насажено коническое зубчатое колесо, сцепляющееся с таким же колесом, находящимся на оси *aa*, соединенной посредством шарнира Гука *i* со стержнем G_2 (черт. 3 и 4), составляющим продолжение оси *a*. На стержне *d* (черт. 1) насажена передвижная муфта с зажимным винтом *e*, в которую вставлен, перпендикулярно длине стержня *d*, выдвижной стерженек с расположенною под прямым углом к нему, лопаточкою *h* на конце. Стерженек этот с лопаточкою *h* закрепляется в муфте особым зажимным винтом. Установив стерженек с лопаточкою *h*, в вырезе которой помещается гирька в виде крючка, противу одного из вырезов на пластинке *ff*, составляющей часть чашки весов, так, чтобы гирька при повороте стержня *d* около своей оси свободно садилась в вырез пластинки *ff* и снималась с него, закрепляют зажимные винты, устанавливающие муфту на стержне *d* и стерженек с лопаточкою *h* — в муфте. Действуя при посредстве стержня G_2 (черт. 3 и 4) на ось *a*, возможно издали, именно из другой комнаты, как это устроено в Главной палате, надевать и снимать гирьку с чашки весов и, таким образом, определять величину откло-

нения коромысла весов от прибавления на одну из чашек гирьки известного веса, т. е. возможно определить значение 1 *div.* Пользуясь описанным приспособлением, возможно было, при многочисленных взвешиваниях на весах № 1, произведенных в Палате при возобновлении фунта, легко и точно определять чувствительность весов (значение 1 div.) при



Черт. 1. Приспособление в весах Рупрехта № 1 для накладывания на чашку весов гирьки при определении значения 1 div. примерно в $^1/_4$ н. в. Детали приспособления примерно в $^1/_2$ н. в.

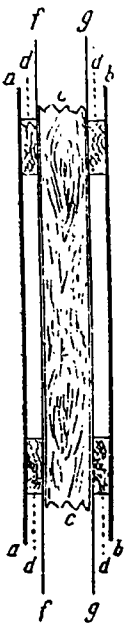
каждом сравнении гирь по несколько раз в день, не арретируя весов и не приближаясь к ним.

К отличительным особенностям весов № 1, по сравнению с весами Международного бюро, описанными в I томе «Travaux», следует отнести также, во-первых, приспособление в весах № 1 для взвешивания гири в воде, состоящее из 2 стальных муфточек, с зажимными винтами, приделанных к левой чашке весов и служащих для прикрепления подвески, продеваемой сквозь 2 отверстия в дне ящика весов, которые при обыкновенных взвешиваниях, в воздухе, плотно закры-

ваются пробками. К означенной подвеске привешивается гиря, погружаемая в сосуд с водою; во-вторых, в весах № 1 не имеется зеркальца, расположенного позади призмы с полным внутренним отражением и служащего, в весах Международного бюро, для контроля положения весов, и, в-третьих, для приведения в действие частей механизма проф. Арцбергера и для арретировки коромысла, в весах № 1 имеются 4 оси с одной лишь передней стороны ящика весов, в весах же Международного бюро, кроме означенных осей, имеются, для той же цели, еще 4 оси с правой боковой стороны ящика весов.

Весы № 1 установлены в весовой комнате (черт. 3, 4 и 5) на каменной тумбе a_2, стоящей на общем изолированном устое *MMM*, между каменными столбами S и S_2 и обозначены на черт. 3, 4 и 5 буквою R. В левой боковой стеклянной стенке ящика весов сделано, на высоте средины гирь, помещаемых на чашки весов, отверстие, в которое плотно вставляется, при посредстве каучуковой пробки, термометр t (черт. 3) в горизонтальном положении так, что шарик его находится внутри ящика весов, а шкала выступает снаружи ящика. Это дает возможность, при посредстве отражателя R_1 и электрической лампочки (в 3 свечи) 4, помещенных у стены комнаты на столике w_4, освещать, в момент отсчета показания термометра, ту часть шкалы его, которая отвечает концу столбика ртути, не нагревая при этом ни шарика термометра, ни весов. Отсчеты на термометре производятся при посредстве зрительной трубы N', установленной на каменной стене в амбразуре окна O_6, сделанного в стене T_1T_3 (черт. 3 и 4). Рядом с трубою N', в той же амбразуре, помещается вторая зрительная труба N со шкалою, отражаемою, как сказано выше, зеркалами: подвижным, находящимся на коромысле весов, и неподвижным, укрепленным снаружи ящика весов. Четыре штанги G, управляющие движениями осей механизма Арцбергера и арретира коромысла, штанга G_2, управляющая осью a, служащею для накладывания гирьки на одну из чашек весов, и 2 штанги G_1, управляющие заводом пружины психрометра Ассмана и движениями стаканчика с водою, смачивающего один из термометров его, оканчиваются в амбразуре окна круглыми шайбами и находятся под руками наблюдателя, помещающегося, во время взвешивания, вне весовой комнаты (в коридоре, прилегающем к этой комнате). Зрительные трубы N и N' и концы вышепоименованных штанг защищены деревянным ящиком W, запирающимся снаружи весовой комнаты на ключ. Для того чтобы возможно

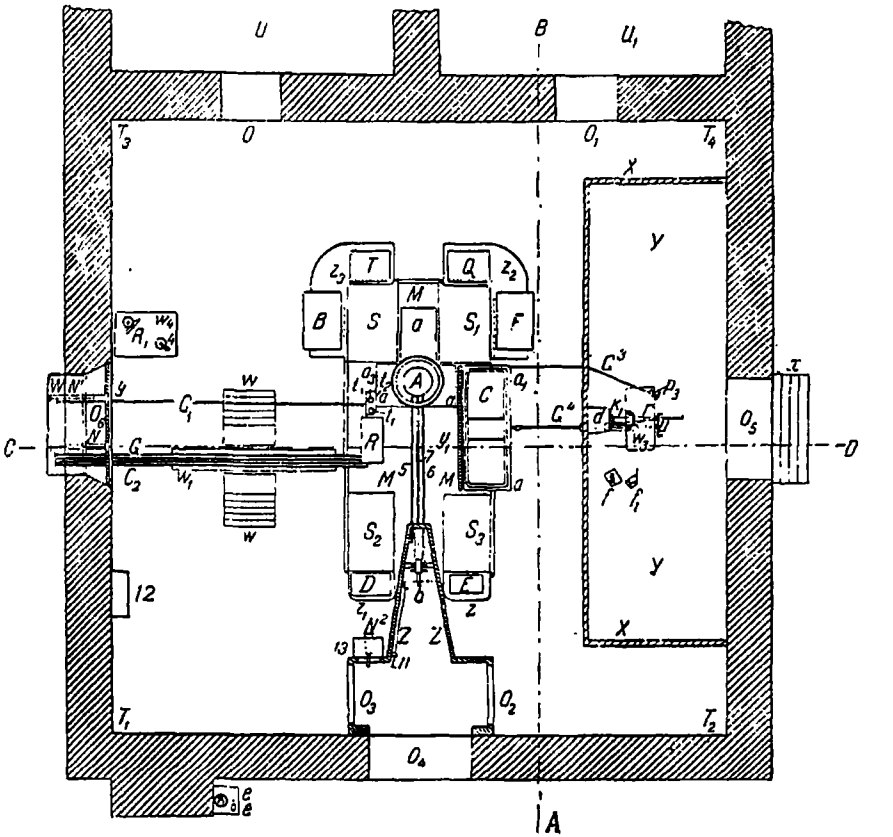
было переходить из одной части весовой комнаты в другую сделан, над означенными штангами, деревянный мостик *ww* со ступеньками. Амбразура окна O_6 заделана со стороны весовой комнаты щитом *y*, состоящим, как показано в разрезе на черт. 2, из деревянной доски *cc*, толщиною в 12 мм, обитой с обеих сторон листами жести *ff* и *gg*, и из 2 картонных листов *aa* и *bb*, из коих *aa* оклеен, с внутренней стороны, станиолем. В промежутках между *aa* и *cc* и *cc* и *bb* помещены деревянные планки *dd*, отделяющие картонные листы от доски *cc*. По опытам, произведенным в Главной палате, щиты, таким образом устроенные, способны продолжительное время задерживать лучистую теплоту, выделяемую наблюдателем. В щите *y* сделаны соответствующие отверстия для штанг, труб и шкалы, затянутые двумя слоями замши в виде мешков, в которые вделаны кольца, плотно обхватывающие трубы *N* и *N'* и штанги, и рамка со шкалою, укрепленная на штативе трубы *N*. Подобное устройство, не мешая необходимым передвижениям означенных предметов, в то же время затрудняет и проникновение воздуха из окружающего весовую комнату коридора, откуда производятся наблюдения, во внутрь ее. Такое устройство способствует сохранению постоянной температуры в весовой комнате в течение всего взвешивания, длящегося иногда около часа.



Черт. 2. Разрез перегородки, устраняющей влияние лучистой теплоты от наблюдателя в [1/4] н. в., примерно. *cc* — слой дерева: *ff* и *gg* — жесть; *aa* и *bb* — папка снутри, оклеенная станиолем; *dd* — деревянные планки; между *aa* и *ff*, а также между *gg* и *bb* — слой воздуха.

Весы Рупрехта № 1 отличаются тою особенностью, что при значительной своей чувствительности (1 div. = 0.03 мг) сохраняют эту чувствительность почти постоянною при различных нагрузках чашек, от 1 г до 1 кг, и что величина нагрузки чашек, в указанных пределах, мало влияет на степень точности результатов взвешиваний (ч. II, гл. 1). Это объясняется, повидимому, качествами материала коромысла в отношении его однородности и упругости. При всем том необходимо отметить один крупный недостаток в устройстве весов № 1. Коромысло весов после арретировки весьма часто

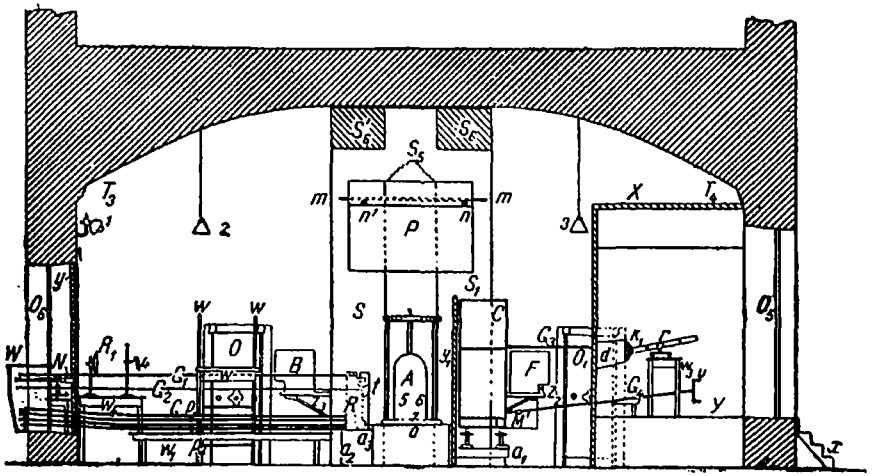
прилипает то к одной, то к другой стороне арретира, и последний *тянет* коромысло иногда до такой степени, и притом нередко в сторону, противоположную действительной перегрузке плеч коромысла, что взвешивание на весах становится невозможным. Обстоятельство это, быть может,



Черт. 3. План весовой комнаты. Внутренний размер ее 9.0×9.0 м².

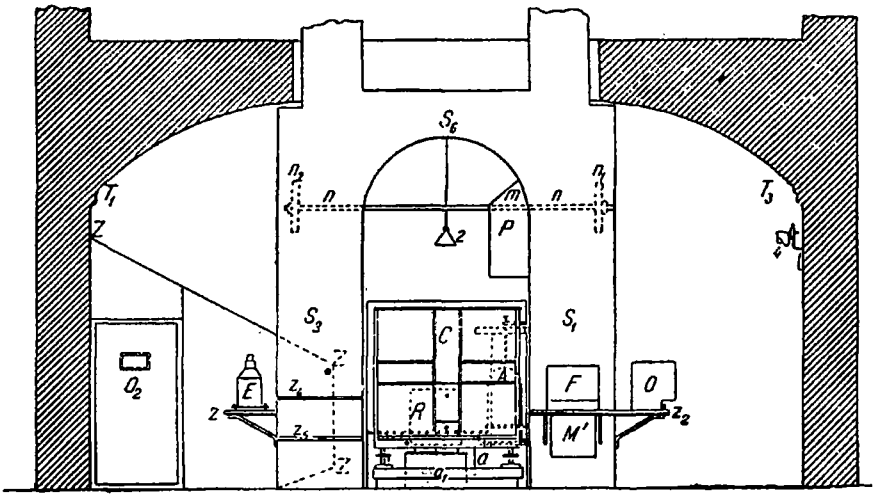
зависит от намагничивания стальных стержней подвесок чашек и арретирующих стальных винтов. В настоящее время в весах № 1 часть винтов арретира чашек заменена бронзовыми. Последовавшие затем взвешивания, немногие, однако, пока, как будто вполне подтверждают означенное предположение, так как после замены стальных винтов бронзовыми не было замечено ни разу прилипания коромысла к арретиру.

Разрез по CD



Черт. 4.

Разрез по AB



Черт. 5.

Черт. 4 и 5. Разрезы по линиям *CD* и *AB*, показанным на плане черт. 3.

§ 2. Приводим несколько примеров сравнения гирь на весах Рупрехта № 1, чтобы показать как степень точности, достигаемой на них при взвешиваниях, так и те приемы, которые в Палате практикуются вообще при точных взвешиваниях.

I. Сравнение гирь (п° п° 944—951): платино-иридиевой граммовой $1894\,\frac{\mathrm{PtIr}}{1\ \text{г}}$ с суммою платиновых гирь от $(1000)\,{}^1/_2$ мг до $(1)\,{}^1/_2$ мг $E_0\,\frac{\mathrm{Pt}}{\Sigma(1000-1)\,{}^1/_2\ \text{мг}}$ при чувствительности, по сравнению с той, с какой они были присланы Рупрехтом, несколько увеличенной посредством приподнятия на 1 оборот средней регулировочной гайки.

Накануне взвешивания, около 5 час. вечера 4 марта 1898 г., гири $1894\,\frac{\mathrm{PtIr}}{1\ \text{г}}$ и $E_0\,\frac{\mathrm{Pt}}{\Sigma(1000-1)\,{}^1/_2\ \text{мг}}$ были положены на латунные никелированные переносные чашки r и r_0 весом в 37.72 г, находившиеся на чашках весов. Затем переносные чашки с находившимися на них гирями были, вышеуказанным способом, центрированы на чашках весов и гирька r_1 (из алюминия, в виде крючка) была насажена на лопаточку h (черт. 1), установленную противу правой чашки весов. Закрыв дверцы весов и поверив правильность отражений шкалы в зрительной трубе N, а также правильность действия частей механизма Арцбергера и арретира коромысла, [наблюдатель] запирал весовую комнату на ключ, и вполне налаженные весы были оставлены в покое до следующего дня. На особых бланках[1] за п° п° 944—947 записано было: 1) что гиря $1894\,\frac{\mathrm{PtIr}}{1\ \text{г}}$ положена на переносную чашку r, без знака, что выражено в форме уравнения

$$A = 1894\,\frac{\mathrm{PtIr}}{1\ \text{г}} + r,$$

[1] Главная палата мер и весов

№	Год	Месяц	Число
	189		

№	Год	Месяц	Число
	189		

2) что сумма гирек от 1000 до 1 полумиллиграмма положена на другую переносную чашку, со знаком ноль — r_0, что выражено уравнением

$$B = E_0 \frac{Pt}{\Sigma(1000-1)\,^1/_2\ \text{мг}} + r_0,$$

где $\Sigma(1000-1)\,^1/_2$ мг $= (1000 + 500 + 200 + 100 + 100 + 50 + 20 + 10 + 10 + 5 + 2 + 2 + 1)\,^1/_2$ мг,

3) что гирька r_1, употребляемая для определения значения 1 div., равна 1.03066 мг в воздухе и 4) что первоначальное положение гирь на чашках весов — BA, т. е. гиря 1894 $\frac{PtIr}{1\ г}$ с переносною чашкою r находится на правой чашке весов, а сумма гирь $E_0 \frac{Pt}{\Sigma(1000-1)\,^1/_2\ \text{мг}} + r_0$ — на левой чашке.

На другой день, 5 марта 1898 г., в 12.08 час. дня, не входя в весовую комнату, записали на бланке за п° 944 показания: термометра п° 13878 в весах, 19.663° Ц, термометра п° 17376 при барометре, 21.30° Ц, и высоту столба ртути барометра 769.00 мм. После чего, в 12.20 час., по освобождении чашек и коромысла весов от арретиров, началось наблюдение колебаний коромысла: $l_1 = 158.0$, $l_2 = 119.05$, $l_3 = 156.95$ и $l_4 = 119.7$. [После] запис[и] на бланке 4 означенны[х] элонгаций, коромысло и чашки весов были арретированы и, посредством механизма Арцбергера, переносные чашки с

Весовые наблюдения

A = _____

B = _____

r = _____ $L = {}^1/_8(l_1 + 3l_2 + 3l_3 + l_4)$

r_1 = _____

Время	Весы: Левая	Весы: Правая	Отсчет на шкале: l_1	l_2	l_3	l_4		L	Пропущено отсчетов

Метеорологические наблюдения

Время	Термометры: t_s весов: левый №	t_s весов: правый №	t_b барометра №	t_E воды №	Психрометра №: t сухой №	Психрометра №: t' мокрый №	H Барометр №

гирями были переложены с чашки на чашку весов в положение *AB* и записаны 4 элонгации, соответствующие новому положению гирь. То же самое произведено еще при двух других положениях гирь на чашках весов: *BA* и *AB*. После записи последней элонгации на бланке отмечено время окончания первого сравнения гирь 12.67 час., произведенное наблюдателем Ф. Завадским, и вслед затем, в 12.68 час., отмечено показание термометра весов = 19.670° Ц. Второй наблюдатель, В. Сапожников, производивший во время наблюдений первого сравнения гирь отметки элонгаций и других данных наблюдений, записав на бланке n° 945 последнее показание температуры весов, отсчитанное первым наблюдателем, приступил в 12.75 час. ко второму сравнению тех же гирь, произведя вышеописанное при положениях гирь *AB*, *BA*, *AB* и *BA*, при коих элонгации записывались на бланке n° 945 первым наблюдателем. Прочтя последнюю элонгацию l_4, при последнем положении гирь *BA*, наблюдатель надел, при посредстве штанги G_2, на правую чашку весов, не арретируя коромысла, гирьку r_1 и прочел затем 4 последовательные элонгации при положении гирь $BA + r_1$ и затем, сняв r_1 с чашки, опять прочел 4 элонгации, соответствующие положению *BA*, после чего коромысло и чашки были им арретированы. Время окончания второго сравнения гирь 1.18 час. и показания термометров весов и барометра, а также самого барометра, произведенные в 1.20 час., записаны на том же бланке. После чего сравнение гирь было приостановлено до 2.58 час., когда началось повторение 2 предыдущих сравнений, причем изменен был порядок наблюдателей: сравнение n° 946 было произведено В. Сапожниковым, а сравнение n° 947 — Ф. Завадским. Кроме того, температура весов ввиду ее малой изменяемости, записывалась по одному разу: при n° 946 в начале наблюдений, а при n° 947 в конце наблюдений в 3.58 час., когда были отмечены также и показания термометров n° n° 523 и 514 психрометра Ассмана n° 136, находившегося в весовой комнате, для чего двери ее, по окончании всех 4 сравнений гирь, были открыты. В настоящее время к психрометру Ассмана сделаны в Палате приспособления для завода пружины вертящегося крыла и для смачивания водою шарика одного из его термометров, дозволяющие означенные действия производить из коридора, прилегающего к весовой комнате, и потому показания психрометра записываются два раза в течение производства описанной серии сравнений гирь, не входя для этого в весовую комнату.

(944—951). Сравнение гири $1894\,\frac{\mathrm{PtIr}}{1\ г}$ с $E_0\,\frac{\mathrm{Pt}}{(1000+500+200+100+\dot{1}\dot{0}\dot{0}+50+20+10+\dot{1}\dot{0}+5+2+\dot{2}+1)\,1/2\ мг}$

(944—947). $A = 1894\,\frac{\mathrm{PtIr}}{1\ г} + r$; $B = E_0\,\frac{\mathrm{Pt}}{\Sigma(1000-1)\,1/2\ мг} + r_0$

		1898 5 III	l_1	l_2	l_3	l_4	L		(944—951)
		12.20 час. *BA*	158.0	119.05	156.95	119.7	138.213	12.08 час. $t_e = 19.663°$	$t_e = 19.655° = 19.50°_н$
		AB	210.1	92.35	206.9	95.6	150.431	$H = 769.0$ мм (21.3°)	$t = 19.64° = 19.61°_н$
944	З.	*BA*	149.3	127.3	148.7	127.55	138.106	12.68 час. $t_e = 19.67°$	$t' = 8.81° = 8.77°_н$
		12.67 » *AB*	213.8	89.4	210.1	92.75	150.631	$A = B - 6.1741$ div. $+ ve$	$H = 766.116$ мм
									(21.313° = 20.66 н)
		12.75 » *AB*	163.4	138.3	162.9	138.9	150.738	12.68 час. $t_e = 19.67°$	$H_0 = 763.47$ мм
		BA	150.8	124.4	150.0	125.0	137.375	1.20 » $t_e = 19.68°$	$h = 2.94$ »
945	С.	*AB*	173.1	127.95	172.0	128.9	150.231	$H = 768.7$ мм (21.4°)	$e = 1.21208$ мг
		BA	161.3	116.5	160.05	117.35	138.538	$A = B - 6.3460$ div. $+ ve$	$V\bar{A} = 0.04651$ мл
		BA $+ r_1$	207.55	161.3	206.55	162.25	184.169		$V_B = 0.04630$ »
		1.18 » *BA*	169.85	109.05	167.5	110.15	138.706		$v = +0.00021$ »
									$ve = 0.00025$ мг
									1 div. = 0.022593 »

		2.63 »	*BA*	158.5	115.8	157.3	116.55	136.794	2.58 час. $t_e = 19.695°$	
			AB	162.05	138.65	161.45	139.05	150.175	$H = 768.45$ мм (21.55°)	
946	С.		*BA*	151.05	123.5	150.3	124.1	137.069	$A = B - 6.6216$ div. $+ ve$	
		3.02 »	*AB*	168.05	133.1	167.2	134.0	150.369		
		3.03 »	*AB*	190.4	111.75	188.35	113.6	150.538	3.58 час. $t_e = 19.695°$	
			BA	174.7	102.4	172.85	104.15	138.075	$H = 768.4$ мм (21.55°)	
947	З.		*AB*	190.05	112.4	188.05	114.25	150.706	$t = 19.64°$, $t' = 9.0°$	
			BA	153.4	124.25	152.85	124.8	138.688	$A = B - 6.2179$ div. $+ ve$	
			$BA + r_1$	214.45	154.8	213.3	156.25	184.375		
		3.57 »	*BA*	165.0	114.1	162.75	115.15	138.838		

(944—947). $1894\ \frac{\text{PtIr}}{1\text{ г}} + r = E_0 \frac{\text{Pt}}{\Sigma\,(1000-1)^{1}/_{2}\text{ мг}} + r_0 - 6.3399$ div. $+ ve$

В этой и последующих таблицах указано: во втором столбце — начальная буква фамилии наблюдателя; в третьем и десятом столбцах — часы (т. е. 12.20 — 12 часов и двадцать сотых, или 12 час. 12 мин.); в четвертом столбце — положение грузов на левой и правой чашках весов; $l_1 \ldots l_4$ — отсчеты (по шкале) колебаний весов; L — положение равновесия при данной нагрузке; t_e — температура воздуха в весах; v — разность (в миллилитрах) между объемами взвешиваемых грузов; e — масса (часто в статьях Д. И. Менделеева — *вес*) миллилитра воздуха; ve — поправка на взвешивание в воздухе; H — барометрическое давление (а цифра в скобках после отсчета по барометру — температура ртути в барометре); t и t' — температуры соответственно сухого и смоченного термометров у психрометра Ассмана; в одиннадцатом столбце показаны температуры, приведенные к водородной шкале, что обозначено значком «Н» внизу (например $t_e = 19.655° = 19.50°_{\text{H}}$); h — упругость паров; V_B — объем взвешиваемой массы B; V_A — объем взвешиваемой массы A. [*Прим. ред.*].

(948—951). $A = 1894\ \frac{\text{PtIr}}{1\ \text{г}} + r_0$; $B = E_0 \frac{\text{Pt}}{\Sigma\ (1000-1)^{1}/_{2}\ \text{мг}} = r$

		1898 6 III	l_1	l_2	l_3	l_4	L		
		11.65 час. *BA*	174.0	135.45	173.2	136.2	154.519	11.58 час. $t_c = 19.595°$	Выводы
		AB	156.65	105.3	155.05	106.8	130.563	$H = 764.6$ мм (20.9°)	
		BA	174.05	135.3	173.0	136.1	154.381	$A = B + 11.8825$ div. $+ve$	$1894\ \frac{\text{PtIr}}{1\ \text{г}} =$
948	С.	11.97 » *AB*	151.05	111.35	150.0	112.2	130.913		
		12.03 » *AB*	153.6	109.7	152.35	110.75	131.313		
		BA	180.2	130.05	179.0	131.2	154.819	12.57 час. $t_c = 19.615°$	$= E_0 \frac{\text{Pt}}{\Sigma(1000-1)^{1}/_{2}\ \text{мг}} +$
		AB	142.25	122.1	141.8	122.6	132.069	$H = 764.18$ мм (21.15°)	
		BA	188.15	123.35	186.4	125.0	155.300	$A = B + 11.5296$ div. $+ve$	$+ 2.5678$ div. $+ ve =$
949	З.	$r_1 + BA$	143.3	77.8	139.8	79.15	109.406		
		12.55 » *BA*	187.75	122.3	186.25	123.85	154.656		
		2.73 » *BA*	183.6	129.0	182.25	130.15	155.938	2.67 час. $t_c = 19.645°$	$= E_0 \frac{\text{Pt}}{\Sigma(1000-1)^{1}/_{2}\ \text{мг}} +$
		AB	155.4	111.0	154.2	112.0	132.875	$H = 763.15$ мм (21.3°)	
		BA	183.9	127.6	182.4	128.9	155.350	$A = B + 11.2384$ div. $+ve$	$+ 0.05801$ мг $+$
950	З.	3.13 » *AB*	144.8	122.4	144.3	122.75	133.456		$+ 0.00025$ мг $=$
		3.23 » *AB*	164.05	101.3	162.3	103.0	132.231	3.65 час. $t_e = 19.65°$	$= \mathbf{1000.0323}$ мг
		BA	166.45	144.3	165.9	144.8	155.231	$H = 762.45$ мм (21.35°)	
		AB	168.6	98.1	166.7	99.9	132.863	$t = 19.64°$, $t' = 8.62°$	
		BA	163.1	147.3	162.85	147.7	155.156	$A = B + 11.2514$ div. $+ve$	$r - r_0 = -0.2012$ мг
951	С.	$r_1 + BA$	131.5	87.8	130.3	88.8	109.325		
		3.63 » *BA*	180.5	130.05	179.35	131.1	154.975		

(948—951). $1894\ \frac{\text{PtIr}}{1\ \text{г}} + r_0 = E_0 \frac{\text{Pt}}{\Sigma\ (1000-1)^{1}/_{2}\ \text{мг}}\ r + 11.4755$ div. $+ ve$

Войдя в весовую комнату, по окончании серии сравнений гирь, и открыв дверцы весов, [наблюдатель] переложил гири с одной переносной чашки на другую, так что обозначения A и B изменились в

$$A = 1894 \frac{\text{Pt}}{1\ \text{г}} + r_0,$$

$$B = \text{E}_0 \frac{\text{Pt}}{\Sigma(1000-1)\ ^1/_2\ \text{мг}} + r.$$

Поставив переносные чашки с гирями на чашках весов в положение BA, переставив лопаточку h на левую сторону весов, для того чтобы гирьку r_1 накладывать на левую чашку весов, и подготовив вообще весы к наблюдениям следующего дня, [наблюдатель] снова закрыл весовую комнату до другого дня.

6 марта 1898 г. произведена новая серия сравнений гирь при новом значении A и B, состоящая тоже из 4 сравнений и записанная под n° n° 948—951.

Данные наблюдений двух серий сравнений гирь: $1894 \frac{\text{PtIr}}{1\ \text{г}}$ и $\text{E}_0 \frac{\text{Pt}}{\Sigma(1000-1)\ ^1/_2\ \text{мг}}$, произведенных 5 и 6 марта 1898 г., и выводы из этих данных помещены в вышеприведенной таблице [см. стр. 662, 663 и 664].

Вероятная погрешность среднего результата, полученного из n° n° 944—947, $\Delta_1 = \pm 0.068$ div.

Вероятная погрешность среднего результата, полученного из n° 948—951, $\Delta_2 = \pm 0.102$ div.

Следовательно, вероятная погрешность окончательного результата

$$1894 \frac{\text{PtIr}}{1\ \text{г}} = 1000.032\ \text{мг}$$

близка к ± 0.085 div. $= \pm 0.002$ мг.

II. Сравнение тех же гирь, $\frac{\text{PtIr}}{1\ \text{г}}$ и $\text{E}_0 \frac{\text{Pt}}{\Sigma(1000-1)\ ^1/_2\ \text{мг}}$, на весах № 1, между собою, при чувствительности весов, установленной Рупрехтом: n° n° 1218—1225.

Сравнение это произведено 19 и 20 июня 1898 г. наблюдателями Ф. Завадским и О. Озаровской таким же образом, как и предыдущее, [но с] замен[ой] чашек r и r_0 пластинками из горного хрусталя a и b. Данные наблюдений и результаты вычислений помещены в следующей таблице [см. стр. 666 и 667].

(1218—1225). Сравнение гири 1894 $\frac{\text{Ptlr}}{1\ \text{г}}$ с $E_0 \frac{\text{Pt}}{(1000+500+200+100+100+50+20+10+10+5+2+2+1)\ ^1/_2\ \text{мг}}$

(1218—1221). $A = 1894\frac{\text{Ptlr}}{1\ \text{г}} + a$; $B = E_0 \frac{\text{Pt}}{\Sigma(1000—1)\ ^1/_2\ \text{мг}} + b$

		1898 19 VI	l_1	l_2	l_3	l_4	L		
		11.80 час. *AB*	157.05	125.1	156.4	125.65	140.900	11.27 час. $t_e = 21.13°$	**(1218—1225)**
1218	З.	*BA*	196.7	150.05	195.8	150.8	173.131	$H = 761.13$ мм (22.6°)	
		AB	162.05	119.1	161.25	119.9	140.375	12.32 час. $t_e = 21.14°$	$t_e = 21.175° = 21.00°_н$
		12.30 » *BA*	188.45	158.1	187.85	158.6	173.113	$A = B + 16.3101$ div. $+ve$	$t = 21.23° = 21.19°_н$
									$t' = 15.41° = 15.37°_н$
		12.63 » *BA*	191.15	154.4	190.35	155.2	172.575	12.32 час. $t_e = 21.14°$	$H = 761.418$ мм
		AB	155.2	126.0	154.75	126.35	140.475	1.27 » $t_e = 21.15°$	(22.875° = 22.22°$_н$)
		BA	191.75	154.3	191.25	154.95	172.919	$H = 761.45$ мм (22.8°)	$H_0 = 758.58$ мм
1219	О.	*AB*	162.4	120.0	161.75	120.75	141.050	$A = B + 16.1071$ div. $+ve$	$h = 10.05$ »
		AB$+r_1$	187.85	160.05	187.3	160.55	173.806		$e = 1.1939$ мг
		1.25 » *AB*	174.25	107.9	173.25	109.0	140.838		$V_A = 0.04651$ мл
									$V_B = 0.04630$ »
		1.73 » *AB*	167.75	113.9	166.75	114.85	140.569	1.68 час. $t_e = 21.15°$	$v = +0.00021$ »
		BA	219.65	127.0	218.1	128.55	172.938	$H = 761.45$ мм (23.0°)	$ve = +0.00025$ мг
1220	О.	*AB*	163.45	118.35	162.75	119.05	140.725	2.18 час. $t_e = 21.15°$)	1 div = 0.031226 »
		2.17 » *BA*	198.3	148.35	197.45	149.15	173.106	$A = B + 16.1470$ div. $+ve$	
		2.32 » *BA*	190.65	155.4	190.0	156.05	172.863	2.18 час. $t_e = 21.15°$	
		AB	160.1	120.9	159.45	121.6	140.344	2.80 » $t_e = 21.16°$	
		BA	184.3	161.75	184.0	161.95	172.938	$H = 761.55$ мм (23.0°)	
1221	З.	*AB*	161.9	119.9	161.2	120.6	140.725	$t = 21.24°$, $t' = 15.42°$	
		AB$+r_1$	188.3	159.5	187.85	159.9	173.781	$A = B + 16.2400$ div. $+ve$	
		2.78 » *AB*	165.4	116.4	164.75	117.1	140.744		

(1218—1221). $1894\ \frac{\text{Ptlr}}{1\ \text{г}} + a = E_0 \frac{\text{Pt}}{\Sigma(1000—1)\ ^1/_2\ \text{мг}} + b + 16.2011$ div. $+ ve$

(1222—1225). $A = 1894\ \frac{\text{Ptlr}}{1\ \text{г}} + b$; $B = E_0 \frac{\text{Pt}}{\Sigma(1000-1)^{1}/_{2}\ \text{мг}} + a$

		1898 20 VI	l_1	l_2	l_3	l_4	L		
		11.70 час. *BA*	156.8	133.75	156.4	133.9	145.144	11.60 час. $t_e = 21.2°$	Выводы
1222	O.	*AB*	184.75	154.05	184.1	154.4	169.200	$H = 761.35$ мм (22.6°)	
		BA	158.75	132.05	158.25	132.45	145.263	12.15 час. $t_e = 21.2°$	$1894\ \frac{\text{Ptlr}}{1\ \text{г}} =$
		12.13 » *AB*	184.1	153.95	183.75	154.5	168.963	$A = B - 11.9538$ div. $+ ve$	
		1.50 » *AB*	181.2	156.9	180.8	157.3	168.950	12.15 час. $t_e = 21.2°$	$= E_0 \frac{\text{Pt}}{\Sigma(1000-1)^{1}/_{2}\ \text{мг}} +$
		BA	167.3	123.8	166.2	124.35	145.206	1.02 » $t_e = 21.2°$	$+ 2.1560$ div. $+ ve =$
1223	З.	*AB*	173.95	163.65	173.85	163.8	168.781	$H = 761.68$ мм (23.0°)	
		BA	167.1	123.95	166.4	124.7	145.356	$A = B - 11.7899$ div. $+ ve$	$= E_0 \frac{\text{Pt}}{\Sigma(1000-1)^{1}/_{2}\ \text{мг}} +$
		BA $+ r_1$	190.2	166.4	189.9	166.9	178.250		$+ 0.06732$ мг $+$
		1.0 » *BA*	169.7	121.4	168.9	122.0	145.325		$+ 0.00025$ мг $=$
		1.38 » *BA*	165.25	125.15	164.65	125.9	145.069	1.35 час. $t_e = 21.2°$	$= 1000.0416$ мг
1224	З.	*AB*	177.15	161.0	176.9	161.15	169.000	$H = 761.68$ мм (23.0°)	
		BA	162.7	128.0	162.05	128.4	145.156	1.78 час. $t_e = 21.21°$	$a - b = + 0.4386$ мг
		1.77 » *AB*	185.45	152.5	184.8	153.0	168.794	$A = B - 11.9071$ div. $+ ve$	
		1.97 » *AB*	183.3	155.45	182.8	156.0	169.256	1.78 час. $t_e = 21.21°$	
		BA	157.45	133.55	157.05	134.1	145.419	2.52 » $t_e = 21.21°$	
1225	O.	*AB*	185.05	153.75	184.45	154.2	169.231	$H = 761.05$ мм (23.0°)	
		BA	161.9	129.35	161.25	129.9	145.450	$t = 21.22°$, $t' = 15.4°$	
		BA $+ r_1$	195.75	161.75	195.1	162.2	178.563	$A = B - 11.9053$ div. $+ ve$	
		2.50 » *BA*	179.5	111.4	178.6	112.6	145.263		

(1222—1225). $1894\ \frac{\text{Ptlr}}{1\ \text{г}} + b = E_0 \frac{\text{Pt}}{\Sigma(1000-1)^{1}/_{2}\ \text{мг}} + a - 11.8890$ div. $+ ve$

Вероятная погрешность среднего результата из n°n° 1218—1221 $\Delta_1 = \pm 0.031$ div.

Вероятная погрешность среднего результата из n°n° 1222—1225 $\Delta_2 = \pm 0.023$ div.

Следовательно, вероятная погрешность окончательного результата

$$1894\,\frac{\text{PtIr}}{1\text{ г}} = 1000.0416 \text{ мг}$$

$$\text{близка к } \pm 0.027 \text{ div.} = \pm 0.0008 \text{ мг.}$$

[При] сравн[ении] вероятны[х] погрешност[ей] результатов I и II сравнения оказывается, что вероятная погрешность результата II сравнения, при меньшей чувствительности, в 2.5 раза менее вероятной погрешности результата I сравнения, при увеличенной чувствительности. А потому возникшее предположение производить сравнение гирь на весах № 1, при увеличенной их чувствительности, оставлено без дальнейшего применения.

III. Сравнение платино-иридиевого фунта, обозначенного знаком корона $1894\,\frac{\text{PtIr}}{\text{корона}}$, с платиновым фунтом Ф. $\frac{\text{Pt}}{1835}$ по способу Борда (n° n° 443—458).

Для производства сравнения означенных фунтов на весах № 1 по способу Борда предварительно была снята в переносном механизме Арцбергера левая крестовина. Вследствие этого нагрузка левой чашки во все время взвешивания гирь оставалась на чашке без перемещений. На правую чашку, при посредстве переносного механизма, помещались то одна, то другая из сравниваемых гирь. Накануне взвешивания, 3 сентября 1896 г., положена была на левую чашку постоянная нагрузка, состоящая из платино-иридиевого фунта, обозначенного знаком герба $1894\,\frac{\text{PtIr}}{\text{герб}}$, и пластинки из горного хрусталя *c*. Нагрузка эта обозначена на бланке № 443 в соответствующей графе

$$T = 1894\,\frac{\text{PtIr}}{\text{герб}} + c.$$

На правую чашку были помещены гири: $1894\,\frac{\text{PtIr}}{\text{корона}}$ и алюминиевые 0.4 мг + 0.3 мг, на переносной пластинке из горного хрусталя *b*. Нагрузка правой чашки обозначена

$$A = 1894\,\frac{\text{PtIr}}{\text{корона}} + \frac{\text{Al}}{(0.4 + 0.3)\text{ мг}} + b.$$

На запасной платформе переносного механизма помещена была нагрузка, состоящая из гири Ф. $\frac{Pt}{1835}$ и пластинки из горного хрусталя a, и обозначена

$$B = Ф. \frac{Pt}{1835} + a.$$

Для определения значения 1 div. (1 деления шкалы) употреблялась алюминиевая гирька $r_1 = 1.03059$ мг,[1] накладывавшаяся во время сравнений гирь на правую чашку весов. Способы наблюдений при сравнении означенных фунтов совершенно те же, какие применялись в I примере, порядок же наблюдений, показанный в нижеследующей таблице [стр. 670—675], несколько видоизменен с целью достижения большей точности результата сравнений. А именно: число сравнений увеличено вдвое и, для определения значения 1 деления шкалы, гирька r_1 накладывалась при каждом сравнении два раза: в начале и в конце сравнения. [См. далее таблицы на стр. 670—675].

Вероятная погрешность среднего результата, полученного из:

n°n° 443—446,	$A = B - 0.05387$ мг,	$\Delta_1 = \pm 0.0066$ мг
n°n° 447—450,	$A = B - 0.07576$ »,	$\Delta_2 = \pm 0.0023$ »
n°n° 451—454,	$A = B + 0.18476$ »,	$\Delta_3 = \pm 0.0060$ »
n°n° 455—458,	$A = B + 0.17208$ »,	$\Delta_4 = \pm 0.0064$ »

Вероятная погрешность окончательного результата

$$1894 \frac{PtIr}{\text{корона}} = Ф. \frac{Pt}{1835} - 1.733 \text{ мг}$$

близка к ± 0.005 мг.

IV. Сравнение тех же фунтов $\frac{PtIr}{\text{корона}}$ и Ф. $\frac{Pt}{1835}$ между собою на весах № 1 по способу Гаусса (n°n° 527—542) I.

Сравнение фунтов по способу Гаусса производилось совершенно так же, как сравнение гирь по тому же способу в I примере. Число сравнений произведено [такое] же, как в примере III. Для значения 1 div., при вычислении результатов наблюдений при настоящем сравнении, взята средняя величина, выведенная из наблюдений с n° 378 по n° 510, равная 0.032881 мг. Во время сравнений фунтов с n° 527 по n° 542 величина 1 div. определялась лишь два раза, при n°n° 534 и 538, для контроля правильности хода сравнений.

[1] Гирька r_1 та же, что и в первых двух примерах. Вес ее 1.03059 мг найден на основании сравнений гирь, в отчете не помещаемых.

$$(443—450)\cdot A = 1894\,\frac{\text{PtIr}}{\text{корона}} + \frac{\text{Al}}{(0.4 + 0.3\ \text{мг})} + a;\ B = \Phi.\,\frac{\text{Pt}}{1835} + b;\ T = 1894\,\frac{\text{PtIr}}{\text{герб}} + c.$$

		1896 4 IX	l_1	l_2	l_3	l_4	L	
		12.53 час. TA	166.2	100.8	164.25	102.1	132.931	12.33 час. $t_e = 19.415°$
		$TA+r_1$	165.95	162.05	166.0	162.15	164.031	$H = 758.9$ мм (19.2°)
		TA	161.75	104.5	160.3	105.6	132.719	1.32 час. $t_e = 19.42°$
		TB	186.3	80.15	183.75	82.35	132.544	$H = 758.9$ мм (19.3°)
		TA	168.1	96.4	166.25	97.95	131.750	
443	З.	TB	157.7	110.25	156.6	111.25	133.688	$A = B - 0.8378$ div.$+ve$
		$TB+r_1$	174.1	155.45	173.9	156.0	164.769	1 div. $= 0.033067$ мг
		1.32 » TB	157.7	110.0	156.7	110.95	133.594	$A = B - 0.02770$ мг $+ve$
		1.45 » TB	169.55	99.6	167.85	101.0	134.113	1.32 час. $t_e = 19.42°$
		$TB+r_1$	186.35	145.0	185.55	146.0	165.500	$H = 758.9$ мм (19.3°)
		TB	151.25	118.0	150.05	118.6	134.250	2.15 час. $t_e = 19.425°$
		TA	162.05	101.15	160.55	102.4	131.194	$H = 759.0$ мм (19.3°)
444	С.	TB	171.5	95.6	169.1	97.3	132.863	
		TA	155.65	109.0	154.5	110.0	132.019	$A = B - 1.8095$ div.$+ve$
		$TA+r_1$	184.9	142.35	184.0	143.3	163.406	1 div. $= 0.032920$ мг
		2.13 » TA	148.0	117.0	147.0	117.65	132.206	$A = B - 0.05957$ мг $+ve$
		3.22 » TA	153.3	113.25	152.25	114.0	132.975	3.17 час. $t_e = 19.425°$
		$TA+r_1$	176.5	152.0	176.05	152.5	164.144	$H = 759.0$ мм (19.27°)
		TA	153.95	112.6	152.7	113.3	132.894	3.80 час. $t_e = 19.425°$
445	С.	TB	158.0	109.7	156.35	110.55	133.338	$H = 758.93$ мм (19.25°)
		TA	179.3	86.05	176.0	88.0	131.681	
		TB	158.5	110.95	157.4	111.75	134.413	$A = B - 1.6225$ div. $+ ve$
		$TB+r_1$	184.7	147.0	184.0	147.8	165.688	1 div. $= 0.033015$ мг
		3.80 » TB	150.4	119.3	149.35	119.8	134.519	$A = B - 0.05357$ мг $+ ve$

		1896 4 IX	l_1	l_2	l_3	l_4	L		(443—458)
									Сравнение платино-иридиевого фунта 1894 г. со знаком короны с платиновым фунтом 1835 г.
		3.87 час. *TB*	156.0	112.55	155.1	113.3	134.031	3.80 час. $t_c = 19.425°$	
		TB+r_1	179.7	151.3	179.0	151.85	165.306	$H = 758.93$ мм (19.35°)	
		TB	160.8	108.15	159.15	109.2	134.288	4.63 час. $t_c = 19.425°$	
446	З.	*TA*	156.2	106.0	155.0	107.0	130.775	$H = 758.80$ мм (19.3°)	
		TB	154.35	111.95	153.4	112.7	132.888	$t = 19.3°$, $t' = 12.94°$	$t_c = 19.257° = 19.12°_н$
		TA	154.05	109.55	152.9	110.35	131.469	$A = B - 2.2895$ div.+*ve*	$t = 19.120° = 19.09°_н$
		TA+r_1	173.25	152.25	173.0	153.0	162.750	1 div. $= 0.032591$ мг	$t' = 12.960° = 12.92°_н$
		4.62 » *TA*	169.3	91.2	167.6	93.0	129.837	$A = B - 0.07462$ мг + *ve*	
		1896 5 IX							
		12.15 час. *TA*	159.35	106.3	158.0	107.3	132.444	12.07 час. $t_c = 19.315°$	$H = 752.89$ мм
		TA+r_1	177.95	150.0	177.0	150.5	163.681	$H = 751.57$ мм (18.8°)	(19.038° = 18.39°$_н$)
		TA	152.1	113.4	151.0	114.1	132.425	12.87 час. $t_c = 19.315°$	$H_0 = 750.57$ мм
447	С.	*TB*	153.35	112.0	152.25	112.8	132.363	$H = 751.27$ мм (18.9°)	
		TA	153.0	106.4	151.75	107.3	129.344		
		TB	156.0	112.25	154.95	113.0	138.825	$A = B - 2.6143$ div.+*ve*	$h = 8.01$ »
		TB+r_1	191.65	139.4	190.6	140.55	165.275	1 div. $= 0.032931$ мг	$e = 1.1901$ мг
		12.85 » *TB*	148.75	120.0	147.75	120.3	134.038	$A = B - 0.08609$ мг + *ve*	$V_A = 19.0412$ мл
		12.92 » *TB*	163.3	105.7	161.75	106.9	134.069	12.87 час. $t_c = 19.315°$	
		TB+r_1	170.0	160.4	169.85	160.8	165.194	$H = 751.27$ мм (18.9°)	$V_B = 19.9627$ »
		TB	161.2	107.45	159.95	108.35	133.969	1.65 час. $t_c = 19.315°$	$v = -0.9215$ »
448	З.	*TA*	159.35	101.35	157.95	102.4	129.956	$H = 750.95$ мм (18.9°)	$ve = -1.0966$ мг
		TB	163.05	101.4	161.5	102.8	131.819		
		TA	155.95	106.25	154.7	107.1	130.738	$A = B - 2.2050$ div. + *ve*	
		TA+r_1	171.1	152.85	171.0	153.4	162.006	1 div. $= 0.032984$ мг	
		1.65 » *TA*	154.75	107.1	153.7	108.0	130.644	$A = B - 0.07273$ мг + *ve*	

[*Продолжение*]

		1896 5 IX	l_1	l_2	l_3	l_4	L	
		3.25 час. TA	155.4	109.9	154.35	110.75	132.363	3.20 час. $t_e = 19.315°$
		$TA+r_1$	175.3	151.95	174.8	152.55	163.513	$H = 750.25$ мм (19.0°)
		TA	155.6	109.25	154.7	110.2	132.206	4.03 час. $t_e = 19.315°$
		TB	153.65	113.45	152.6	114.3	133.263	$H = 750.25$ мм (19.0°)
		TA	156.15	106.15	154.8	107.1	130.763	
449	З.	TB	154.25	113.15	153.4	113.85	133.469	$A = B - 2.1908$ div. $+ ve$
		$TB+r_1$	178.1	151.4	177.65	152.1	164.669	1 div. $= 0.032967$ мг
		4.02 » TB	153.8	113.3	152.85	114.0	133.281	$A = B - 0.07222$ мг $+ ve$
		4.08 » TB	153.65	114.7	152.6	115.35	133.863	4.03 час. $t_e = 19.315°$
		$TB+r_1$	189.3	141.8	188.3	143.0	165.325	$H = 750.25$ мм (19.0°)
		TB	151.0	117.9	149.9	118.35	134.094	4.75 час. $t_e = 19.313°$
		TA	160.0	104.75	157.8	105.75	131.675	$H = 750.0$ мм (19.0°)
		TB	154.0	113.45	153.0	114.25	133.450	$t = 19.16°$, $t' = 13.0°$
450	С.	TA	156.0	106.0	154.8	106.95	130.669	$A = B - 2.1875$ div. $+ ve$
		$TA+r_1$	176.9	147.35	176.35	148.0	162.000	1 div. $= 0.032910$ мг
		4.73 » TA	149.15	113.2	147.85	113.8	130.763	$A = B - 0.07199$ мг $+ ve$

(451—458). $A = 1894\ \frac{\text{PtIr}}{\text{корона}} + \frac{\text{Al}}{(0.4 + 0.3)\text{ мг}} + b;\ B = \Phi.\ \frac{\text{Pt}}{1835} + a;\ T = 1894\ \frac{\text{PtIr}}{\text{герб}} + c$ [*Продолжение*]

		1896 6 IX	l_1	l_2	l_3	l_4	L		
		12.20 час. TA	162.50	107.25	160.15	108.3	134.125	12.13 час. $t_e = 19.19°$	
		$TA+r_1$	174.0	156.5	173.8	157.0	165.238	H=753.55 мм (18.9°)	
		TA	157.15	111.0	156.1	112.0	133.806	12.85 час. $t_e = 19.19°$	
		TB	156.05	101.0	153.6	102.05	127.738	$H = 753.85$ мм (19.0°)	
451	C.	TA	167.05	102.25	164.6	103.6	133.900		
		TB	152.75	103.35	151.55	104.4	127.731	$A = B + 6.1403$ div. $+ ve$	
		$TB+r_1$	174.0	144.55	173.3	145.25	159.100	1 div. = 0.032925 мг	
		12.85 » TB	152.15	104.25	150.8	105.1	127.800	$A = B + 0.20217$ мг $+ ve$	
		12.93 » TB	156.3	103.05	154.95	104.1	129.300	12.85 час. $t_e = 19.19°$	Выводы
		$TB+r_1$	167.95	153.3	167.9	153.65	160.650	$H = 753.85$ мм (19.0°)	
		TB	154.25	104.7	153.2	105.6	129.194	1.33 час. $t_e = 19.20°$	(443—450)
		TA	154.65	113.1	153.7	114.0	133.631	$H = 754.05$ мм (19.0°)	
452	3.	TB	153.0	101.95	151.75	102.95	127.131		$1894\ \frac{\text{PtIr}}{\text{корона}} +$
		TA	153.9	114.35	152.9	115.1	133.844	$A = B + 6.0375$ div. $+ ve$	
		$TA+r_1$	177.7	152.8	177.3	153.4	165.175	1 div. = 0.032835 мг	
		1.33 » TA	155.75	112.3	154.8	113.05	133.763	$A = B + 0.19824$ мг $+ ve$	$+ \frac{\text{Al}}{(0.4 + 0.3)\text{ мг}} + a =$
		3.50 » TA	162.05	106.95	160.6	107.95	134.081	3.43 час. $t_e = 19.20°$	
		$TA+r_1$	174.55	156.3	174.35	156.75	165.406	$H = 754.10$ мм (18.95°)	$= \Phi\ \frac{\text{Pt}}{1835} + b -$
		TA	157.7	111.25	156.7	112.15	134.213	4.28 час. $t_e = 19.20°$	
453	3.	TB	151.8	105.2	150.7	106.2	128.213	$H = 754.30$ мм (18.95°)	
		TA	159.4	107.8	158.25	108.8	133.294		$- 0.06481$ мг $+ ve$
		TB	154.75	103.6	153.4	104.7	128.806	$A = B + 5.1625$ div. $+ ve$	
		$TB+r_1$	167.35	152.9	167.2	153.2	160.106	1 div. = 0.032917 мг	
		4.28 » TB	154.15	103.85	153.0	104.8	128.688	$A = B + 0.16993$ мг $+ ve$	

[*Продолжение*]

		1896 6 IX	l_1	l_2	l_3	l_4	L		
		4.37 час. *TB*	164.1	95.7	162.4	97.0	129.425	4.28 час. $t_e = 19.20°$	
		TB+r_1	173.0	148.85	172.65	149.3	160.850	$H = 754.3$ мм (18.95°)	(451—458)
		TB	151.3	108.55	149.95	109.35	129.519	4.97 час. $t_e = 19.20°$	
454	C.	*TA*	165.25	102.65	163.7	103.95	133.531	$H = 754.7$ мм (18.90°)	$1894\ \frac{\text{PtIr}}{\text{корона}} +$
		TB	155.25	101.95	153.9	103.0	128.225	$t = 19.06°$; $t' = 13.0°$	
		TA	153.7	115.2	152.7	116.0	134.175	$A = B + 5.1435$ div. $+ ve$	
		TA+r_1	182.2	149.3	181.65	150.0	165.706	1 div. $= 0.032795$ мг	$+ \frac{\text{Al}}{(0.4 + 0.3)\text{ мг}} + b =$
		4.95 » *TA*	157.0	112.45	155.6	113.2	134.294	$A = B + 0.16868$ мг $+ ve$	
		1896 7 IX							
		11.93 час. *TA*	153.05	114.05	151.95	114.9	133.244	11.82 час. $t_e = 19.075°$	$= \Phi\ \frac{\text{Pt}}{1835} + a +$
		TA+r_1	177.1	152.35	176.75	153.0	164.675	$H = 747.75$ мм (18.9°)	
		TA	156.3	110.85	155.3	111.65	133.300	12.67 час. $t_e = 19.09°$	
455	З.	*TB*	146.75	109.4	145.75	110.15	127.794	$H = 747.88$ мм (19.0°)	$+ 0.17842$ мг $+ ve$
		TA	154.05	111.75	153.0	112.5	132.600		
		TB	148.4	107.2	147.4	108.0	127.525	$A = B + 5.0483$ div. $+ ve$	
		TB+r_1	170.7	147.8	170.3	148.0	159.125	1 div. $= 0.032708$ мг	
		12.65 » *TB*	152.55	102.95	151.55	103.9	127.494	$A = B + 0.16512$ мг $+ ve$	
		12.78 » *TB*	157.5	101.45	156.05	102.5	129.063	12.67 час. $t_e = 19.09°$	
		TB+r_1	165.35	155.4	165.3	155.7	160.394	$H = 747.88$ мм (19.0°)	
456	C.	*TB*	155.25	103.05	154.05	104.0	128.819	1.45 час. $t_e = 19.09°$	
		TA	156.8	108.85	155.5	109.9	132.469	$H = 747.88$ мм (19.03°)	
		TB	150.95	104.8	149.7	105.6	127.506		
		TA	153.95	114.05	152.95	114.95	133.738	$A = B + 4.9520$ div. $+ ve$	
		TA+r_1	180.65	149.9	180.05	150.5	165.125	1 div. $= 0.032776$ мг	
		1.43 » *TA*	161.0	107.3	159.3	108.35	133.644	$A = B + 0.16231$ мг $+ ve$	

[*Окончание*]

		1895 7 IX	l_1	l_2	l_3	l_4	L		(443—458)
									$1894\,\frac{\text{Ptlr}}{\text{корона}} =$
									$= \Phi\,\frac{\text{Pt}}{1835} -$
		3.22 час. *TA*	151.15	117.6	150.35	118.2	134.150	3.13 час. $t_c = 19.10°$	$-\frac{\text{Al}}{(0.4 + 0.3)\text{ мг}} +$
		$TA + r_1$	181.5	150.05	180.95	150.85	165.669	$H = 747.9$ мм (19.0°)	$+ 0.05680$ мг $+ ve =$
		TA	158.0	111.3	156.35	112.1	134.131	3.88 час. $t_c = 19.10°$	
		TB	158.0	100.0	155.7	101.25	128.294	$H = 748.0$ мм (19.0°)	$= \Phi\,\frac{\text{Pt}}{1835} -$
457	C.	*TA*	153.4	113.05	152.5	113.8	132.981		
		TB	152.75	104.85	151.55	105.75	128.463	$A = B + 4.9323$ div. $+ ve$	$-$ **1.7322 мг**
		$TB + r_1$	170.5	149.9	170.25	150.4	160.169	1 div. $= 0.032565$ мг	
		3.87 » *TB*	152.3	104.95	151.3	105.7	128.344	$A = B + 0.16062$ мг $+ ve$	
		3.92 » *TB*	150.8	108.0	149.7	108.9	129.100	3.88 час. $t_c = 19.10°$	$a - b = -0.1216$ мг
		$TB + r_1$	171.7	149.7	171.3	150.3	160.625	$H = 748.0$ мм (19.0°)	
		TB	153.15	105.2	152.1	106.1	128.894	4.67 час. $t_c = 19.095°$	
		TA	157.0	110.05	155.9	111.05	123.238	$H = 748.0$ мм (18.95°)	
		TB	151.3	102.4	150.0	103.25	126.469	$t = 18.96°$, $t' = 12.9°$	
458	З.	*TA*	168.3	98.15	167.0	99.7	132.994		
		$TA + r_1$	166.3	161.9	166.3	162.05	164.119	$A = B + 6.1018$ div. $+ ve$	
		4.67 » *TA*	161.6	104.8	160.4	105.9	132.888	1 div. $= 0.032818$ мг	
								$A = B + 0.20025$ мг $+ ve$	

$$(527-530)\cdot A = 1894\,\frac{\text{PtIr}}{\text{корона}} + \frac{\text{Al}}{(0.4+0.3)\text{ мг}} + a;\; B = \Phi\,\frac{\text{Pt}}{1835} + b$$

		1896 15 X		l_1	l_2	l_3	l_4	L		
		12.28 час.	*BA*	186.7	129.6	185.15	130.9	157.731	12.22 час. $t_e = 17.635°$	
			AB	165.9	148.6	162.2	148.9	157.025	$H = 762.18$ мм (18.95°)	(527—542)
527	З.		*BA*	180.6	136.4	179.4	137.35	158.169	12.80 час. $t_e = 17.638°$	
		12.78 »	*AB*	164.7	150.15	164.1	150.4	157.231	$H = 761.85$ мм (19.0°)	Сравнение платино-иридиевого фунта 1894 г. со знаком корона с платиновым фунтом 1835 г.
									$A = B + 0.4915$ div. $+ve$	
		1.25 »	*AB*	216.85	102.9	213.8	105.4	159.044	12.80 час. $t_e = 17.638°$	
			BA	180.75	136.3	179.7	137.3	158.256	$H = 761.85$ мм (19.0°)	
528	С.		*AB*	178.4	136.5	177.3	137.45	157.156	1.70 час. $t_e = 17.64°$	
		1.68 »	*BA*	194.25	122.7	192.4	124.25	157.975	$H = 761.45$ мм (19.0°)	
									$A = B + 0.2789$ div. $+ve$	$t_e = 17.713° = 17.58°_{\text{H}}$
		2.93 »	*BA*	163.9	153.7	163.65	154.05	158.750	2.88 час. $t_e = 17.643°$	$t = 17.685° = 17.67°_{\text{H}}$
			AB	193.4	124.05	191.65	125.7	158.275	$H = 760.9$ мм (19.0°)	
529	С.		*BA*	161.8	155.2	161.45	155.2	158.369	3.33 час. $t_e = 17.643°$	$t' = 11.755° = 11.71°_{\text{H}}$
		3.33 »	*AB*	168.85	146.95	168.2	147.35	157.706	$H = 760.7$ мм (19.0°)	
									$A = B + 0.1658$ div. $+ve$	$H = 760.32$ мм
		3.40 »	*AB*	227.5	91.25	224.0	94.5	158.469	3.33 час. $t_e = 17.643°$	
			BA	162.95	152.85	162.65	153.0	157.806	$H = 760.7$ мм (19.0°)	(18.895° = 18.25°$_{\text{H}}$)
530	З.		*AB*	161.35	152.95	161.15	153.1	157.094	3.93 час. $t_e = 17.645°$	
		3.93 »	*BA*	181.05	134.6	179.8	135.6	157.481	$H = 760.5$ мм (19.0°)	
									$t = 17.6°$, $t' = 11.64$	$H_0 = 758.01$ мм
									$A = B + 0.1435$ div. $+ve$	

(531—538). $A = 1894 \frac{\text{PtIr}}{\text{корона}} + \frac{\text{Al}}{(0.4 + 0.3)\text{ мг}} + b$; $B = \Phi \frac{\text{Pt}}{1835} + a$ [*Продолжение*]

		1896 16 X	t_1	t_2	t_3	t_4	L		
		12.37 час. *BA*	207.15	121.4	204.95	123.4	163.700	12.30 час. $t_e = 17.685°$	$h = 7.25$ мм
		AB	155.9	153.95	155.75	153.95	154.869	$H = 757.6$ мм (18.8°)	$e = 1.2088$ мг
531	C.	*BA*	175.1	151.65	174.5	152.1	163.206	12.83 час. $t_e = 17.685°$	$V_A = 19.04042$ мл
		12.83 » *AB*	156.95	150.05	156.65	150.2	153.406	$H = 757.25$ мм (18.8°)	$V_B = 19.96186$ »
								$A = B + 4.4131$ div. $+ ve$	$v = -0.9214$ »
		12.92 » *AB*	179.75	128.85	178.5	129.9	153.963	12.83 час. $t_e = 17.685°$	$ve = -1.1138$ мг
		BA	188.65	137.2	187.3	138.4	162.569	$H = 757.25$ мм (18.8°)	
532	З.	*AB*	168.25	138.5	167.55	139.0	153.175	1.47 час. $t_e = 17.69°$	При вычислении наблюдений с п° 527 по п° 542 принималась для значения 1 div. средняя величина, выведенная из наблюдений с № 378 по № 510, равная 1 div. = = 0.032881 мг
		1.47 » *BA*	186.75	137.55	185.55	138.75	161.850	$H = 757.075$ мм (18.85°)	
								$A = B + 4.5086$ div. $+ ve$	
		2.97 » *BA*	199.05	124.75	197.1	126.4	161.375	2.92 час. $t_e = 17.69°$	
		AB	170.8	132.7	170.0	133.4	151.538	$H = 756.9$ мм (18.9°)	
533	З.	*BA*	173.6	147.6	173 0	148.2	160.450	3.52 час. $t_e = 17.695°$	
		3.50 » *AB*	175.7	127.7	174.5	128.75	151.381	$H = 756.85$ мм (18.95°)	
								$A = B + 4.5913$ div. $+ ve$	
		3.58 » *AB*	170.65	133.9	169.75	134.6	152.025	3.52 час. $t_e = 17.695°$	Во время взвешиваний с п° 527 по п° 542 величина 1 div. определялась лишь для контроля
		BA	167.4	155.35	167.1	155.8	161.319	$H = 756.85$ мм (18.95°)	
		AB	163.6	139.9	162.95	140.35	151.563	4.12 час. $t_e = 17.7°$	
534	C.	*BA*	173.2	148.8	172.5	149.25	160.794	$H = 756.9$ мм (18.95°)	
		BA + r_1	223.9	162.2	222.55	163.7	192.731	$t = 17.66°$, $t' = 11.8°$	
		4.10 » *BA*	176.1	147.3	175.0	147.8	161.350	$A = B + 4.7546$ div. $+ ve$	
								1 div. = 0.032553 мг	

[*Продолжение*]

		1896 17 X		l_2	l_3	l_4	L		
		12.17 час.	*BA*	174.6	155.05	154.1	155.3	164.669	12.10 час. $t_e = 17.75°$	
			AB	167.6	139.25	166.9	139.8	153.231	$H = 762.6$ мм (18.85°)	
535	З.		*BA*	188.95	139.3	187.75	140.5	163.825	12.72 час. $t_e = 17.75°$	Выводы
		12.72 »	*AB*	162.75	142.1	161.9	142.35	152.138	$H = 762.85$ мм (18.9°)	(527—530), (539—542)
									$A = B + 5.5391$ div. $+ ve$	$1894 \frac{\text{PtIr}}{\text{корона}} +$
		12.83 »	*AB*	168.35	137.0	167.5	137.5	152.419	12.72 час. $t_e = 17.75°$	
			BA	183.35	146.0	182.45	146.75	164.431	$H = 763.85$ мм (18.85°)	$+ \frac{\text{Al}}{(0.4 + 0.3)\text{ мг}} + a =$
536	С.		*AB*	157.2	147.5	156.95	147.7	152.281	1.28 час. $t_e = 17.75°$	
		1.27 »	*BA*	173.0	154.0	172.45	154.4	165.344	$H = 763.05$ мм (18.9°)	$= \Phi \frac{\text{Pt}}{1835} + b -$
									$A = B + 5.9219$ div. $+ ve$	-0.6690 div. $+ ve$
		3.28 »	*BA*	179.7	150.3	178.85	151.0	164.769	3.23 час. $t_e = 17.76°$	
			AB	157.2	148.0	156.95	148.15	152.525	$H = 762.85$ мм (18.9°)	
537	С.		*BA*	180.95	146.8	180.0	147.4	163.594	3.75 час. $t_e = 17.76°$	(531—538)
		3.73 »	*AB*	155.15	148.15	155.0	148.25	151.606	$H = 763.9$ мм (18.9°)	
									$A = B + 5.7963$ div. $+ ve$	$1894 \frac{\text{PtIr}}{\text{корона}} +$
		3.78 »	*AB*	186.35	120.05	184.8	121.4	152.788	3.75 час. $t_e = 17.76°$	
			BA	171.8	155.25	171.3	155.6	163.381	$H = 763.9$ мм (18.9°)	$+ \frac{\text{Al}}{(0.4 + 0.3)\text{ мг}} + b =$
538	З.		*AB*	156.0	145.75	155.8	145.9	150.819	4.45 час. $t_e = 17.76°$	
			BA	170.45	156.4	170.1	156.7	163.331	$H = 764.15$ мм (18.95°)	$= \Phi \frac{\text{Pt}}{1835} + a +$
			$BA + r_1$	219.25	171.9	218.15	173.05	195.306	$t = 17.72°$, $t' = 11.78°$	
		4.45 »	*BA*	189.4	139.15	187.9	140.2	163.844	$A = B + 6.0286$ div. $+ ve$	$+ 5.1942$ div. $+ ve$
									1 div. $= 0.032492$ мг	

(539—542). $A = 1894\ \frac{\text{PtIr}}{\text{корона}} + \frac{\text{Al}}{(0.4+0.3)\ \text{мг}} + a;\quad B = \Phi\ \frac{\text{Pt}}{1835} + b$ [*Окончание*]

		1896 18 X	l_1	l_2	l_3	l_4	L		
		12.35 час. *BA*	179.8	136.65	178.3	137.55	157.775	12.3 час. $t_e = 17.76°$	
		AB	166.75	154.75	166.4	155.1	160.663	$H = 759.3$ мм (18.75°)	(527—542)
539	C.	*BA*	164.85	147.9	164.1	148.1	156.119	12.78 час. $t_e = 17.76°$	
		12.78 » *AB*	173.2	146.0	172.55	146.5	159.419	$H = 759.33$ мм (18.8°)	$\mathbf{1894\ \frac{PtIr}{корона} =}$
								$A = B - 1.9095$ div. $+ ve$	
		12.97 » *AB*	204.4	119.8	202.25	121.7	161.531	12.78 час. $t_e = 17.76°$	$= \Phi\ \frac{Pt}{1835} -$
		BA	170.2	143.9	169.25	144.35	156.750	$H = 759.33$ мм (18.8°)	
540	З.	*AB*	166.55	152.7	166.05	152.95	159.469	1.50 час. $t_e = 17.76°$	$-\ \frac{Al}{(0.4+0.3)\ мг} +$
		1.50 » *BA*	163.6	149.15	163.0	149.3	156.169	$H = 759.7$ мм (18.8°)	
								$A = B - 1.6899$ div. $+ ve$	$+ 2.2626$ div. $+ ve =$
		3.57 » *BA*	164.85	149.7	164.3	149.9	156.094	3.50 час. $t_e = 17.765°$	$= \Phi\ \frac{Pt}{1835} -$
		AB	164.25	154.0	163.95	154.2	159.038	$H = 759.7$ мм (18.85°)	
541	З.	*BA*	163.55	148.8	163.15	149.1	156.063	4.15 час. $t_e = 17.765°$	$-\ \frac{Al}{(0.4+0.3)\ мг} +$
		4.13 » *AB*	164.0	152.75	163.65	152.95	158.269	$H = 759.53$ мм (18.85°)	
								$A = B - 1.2625$ div. $+ ve$	$+ 0.07440$ мг $+ ve =$
		4.22 » *AB*	173.25	148.6	172.6	149.0	160.731	4.15 час. $t_e = 17.765°$	$\mathbf{= \Phi\ \frac{Pt}{1835} -}$
		BA	160.5	152.75	160.05	152.9	156.475	$H = 759.53$ мм (18.85°)	
542	C.	*AB*	165.55	152.95	165.0	153.2	159.075	4.65 час. $t_e = 17.775°$	$\mathbf{- 1.7328}$ мг
		4.63 » *BA*	162.55	149.7	162.1	149.85	155.975	$H = 759.85$ мм (18.85°)	
								$t = 17.76°$, $t' = 11.8°$	$a - b = -0.0964$ мг
								$A = B - 1.5695$ div. $+ ve$	

Вероятная погрешность среднего результата, полученного из п° п° 527—530:

$$A = B + 0.2699 \text{ div.}, \quad \Delta_1 = \pm 0.054 \text{ div.}$$

Вероятная погрешность среднего результата, полученного из п° п° 539—542:

$$A = B - 1.6079 \text{ div.}, \quad \Delta_2 = \pm 0.091 \text{ div.}$$

Вероятная погрешность среднего результата, полученного из п° п° 531—534:

$$A = B + 4.5669 \text{ div.}, \quad \Delta_3 = \pm 0.050 \text{ div.}$$

Вероятная погрешность среднего результата, полученного из п° п° 535—538:

$$A = B + 5.8215 \text{ div.}, \quad \Delta_4 = \pm 0.066 \text{ div.}$$

Вероятная погрешность окончательного результата

$$1894 \frac{\text{PtIr}}{\text{корона}} = \Phi \frac{\text{Pt}}{1835} - 1.733 \text{ мг}$$

близка к ± 0.065 div. $= \pm 0.002$ мг.

Значение e = весу 1 мл воздуха, необходимое для приведения окончательных результатов, полученных при сравнении гирь в воздухе, к пустоте, определялось для каждого сравнения на основании средних метеорологических данных, выведенных из всех записей их, производимых в течение времени производства полного сравнения, которое продолжалось, в приведенных выше примерах, 2 или 4 дня.

§ 3. Главные элементы весов № 1:

Толщина металла коромысла	6	мм
Вес коромысла	677.67	г
» правой (R) верхней двойной подвески	65.739	»
» (R) средней подвески	24.924	»
» (R) чашки	186.199	»
Вес правой (R) чашки с подвесками	276.862	г
» левой (L) верхней двойной подвески	65.789	»
» (L) средней подвески	24.828	»
» (L) чашки	186.244	»
Вес левой (L) чашки с подвесками	276.861	»
» коромысла с чашками и подвесками	1231.393	»

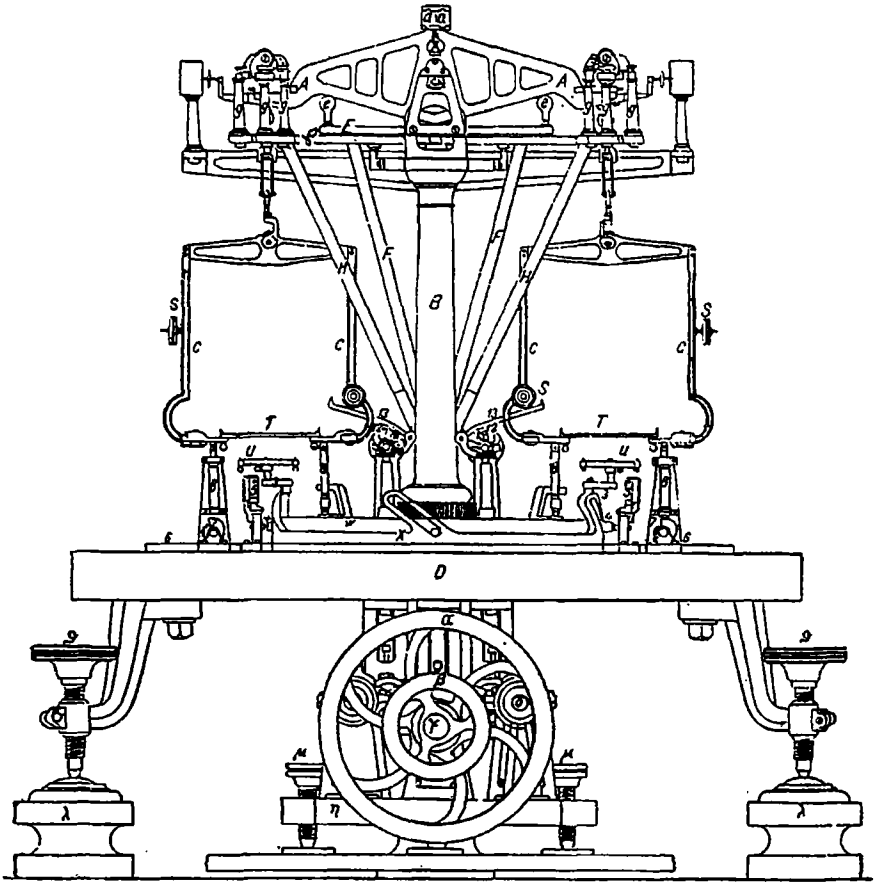
Расстояние между боковыми призмами (длина коромысла)	358	мм
Длина призм коромысла: средней	40	»
» » » : боковых	19	»
Площадь чашки весов (диаметр коей = около 105 мм) вместе с площадью вырезов	86.59	см²
Площадь чашки весов за вычетом площади вырезов	51.81	»
Площадь чашки, когда на ней лежит посредине пластинка из горного хрусталя (*a*) или (*b*)	64.21	»
Площадь чашки, когда на ней лежит пластинка из горного хрусталя (*c*) или (*d*)	83.47	»
Расстояние шкалы от зеркала на коромысле весов	3.450	м
» зеркала от фокуса окуляра зрительной трубы	4.020	»
» изображения шкалы от фокуса окуляра зрительной трубы	7.47	»
Делений на шкале	310	
Величина 1 деления (1 div.)	1.5	мм
1 div. шкалы отвечает углу отклонения коромысла весов, равному	44.84″	
15 div. шкалы отвечают углу отклонения коромысла весов, равному	11′12.60″	
0.05 div. шкалы	2.24″	

б) Весы Неметца (Nemetz) для взвешивания до 1 кг, № 2

§ 4. Весы Неметца, обозначаемые № 2, предназначены для взвешивания гирь до 1 кг в воздухе или ином газе, например в водороде, или же в разреженном пространстве. Весы эти, доставленные в Палату в 1895 г. венским механиком Иосифом Неметцем, изготовлены по идее весов профессора Будапештского политехникума Круспера, описанных в статье «Eine Vakuumwage neuer Konstruktion» (Zeitschrift für Instrumentenkunde, март 1899 г., стр. 81—86).

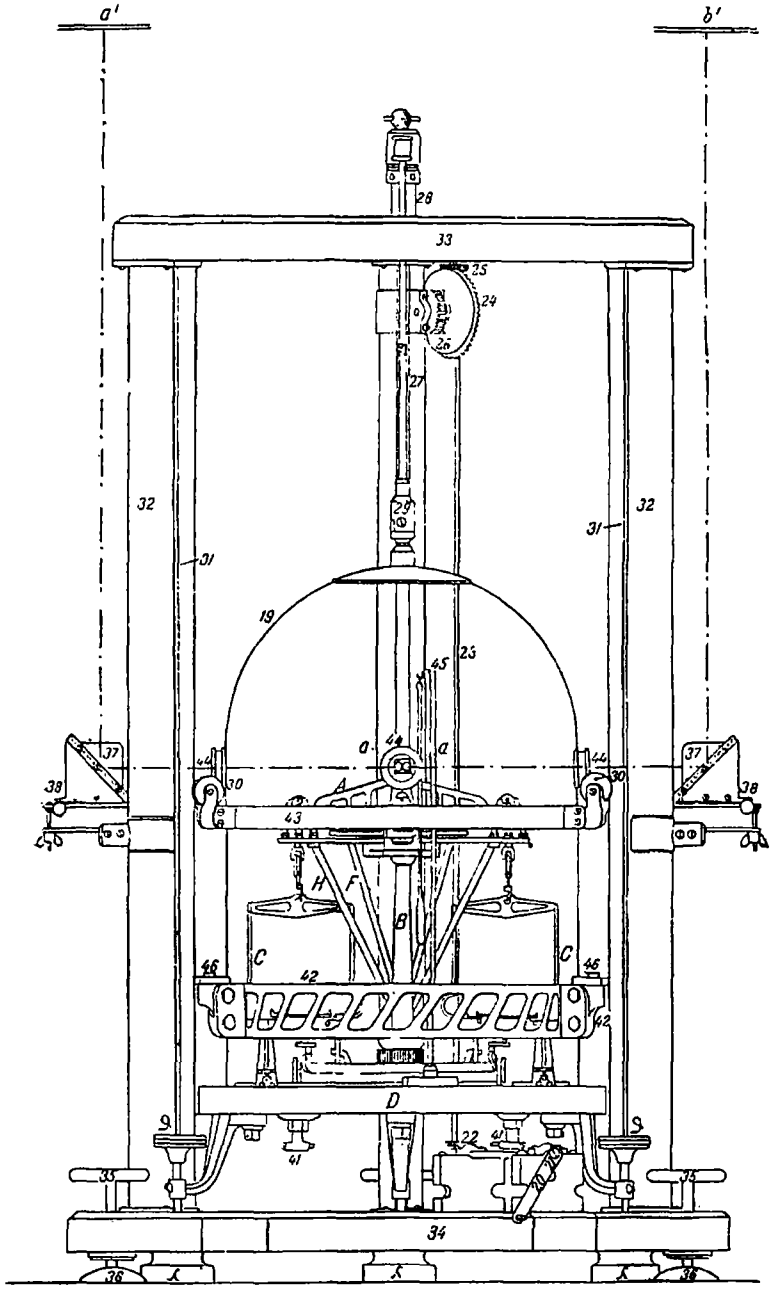
На стальной круглой платформе *D* (черт. 6, 7 и 8) с тремя винтовыми ножками ϑ, опирающимися на подставках λ, укреплена бронзовая колонна *B*, на вершине коей, в пазах, вставлен бронзовый выдвижной брусок с агатовою подушкою, служащею опорою среднему кремневому (Feuerstein) ножу *Q* (черт. 9) бронзового вызолоченного коромысла *A*. Колонна *B* служит также направляющею для арретиров (*FF* и *HH*) коромысла, подушек и подвесок. По концам коромысла закреплены боковые призмы (ножи) *M* тоже из кремня. Способ закрепления средней призмы *Q* посредством привинчиваемых к коромыслу *A* пластинки *z* и вкладыша *y* показан на черт. 9. Способ же закрепления боковых призм *M* показан на черт. 10 и состоит в том, что бронзовый брусок *s*, в коем вделана призма *M*, помещается на пластинке *t*, с коей брусок этот соединен при посредстве 5 винтов *v*.

3 концевых горизонтальных и 2 нижних вертикальных. Пластинка *t* скрепляется с коромыслом *A* помощью винта *u*. При помощи винтов *v* и *u* и пластинки *t* призма *M* уста-



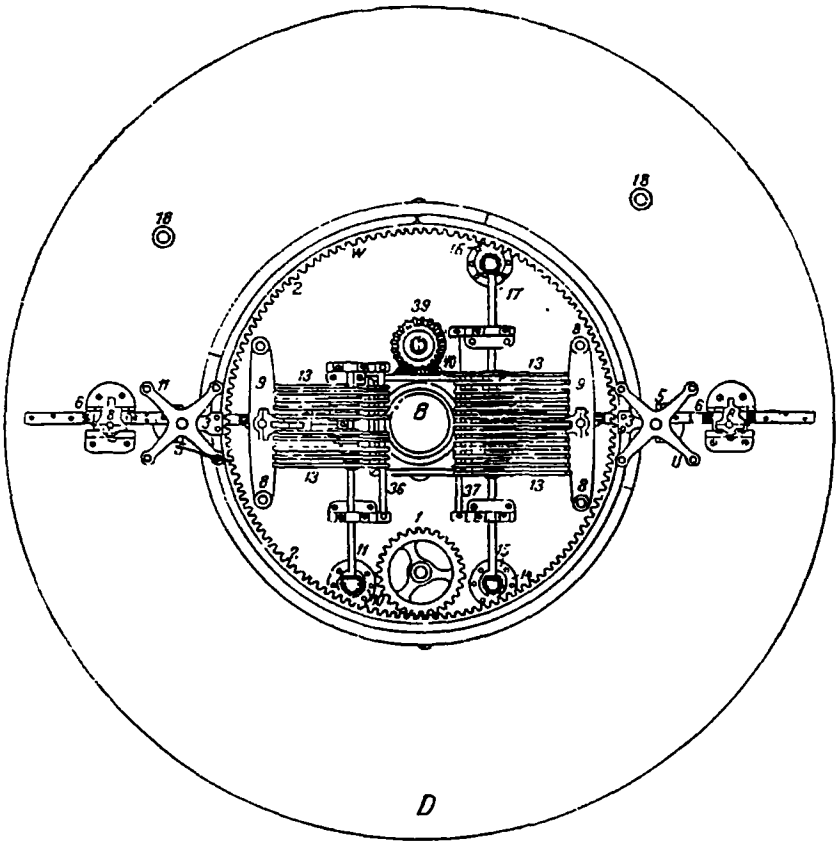
Черт. 6. Передний вид весов Неметца без колокола, примерно в $^1/_6$ н. в.

навливается на определенном расстоянии от средней призмы и параллельно сей последней. Коромысло *A* снабжено спереди регулирующею чувствительность весов составною гайкою *R* (черт. 9) и регулирующими массы обоих плеч коромысла гайками *P*, надетыми на винтовые стержни *O*, прикрепленные по концам коромысла к дугам *N* (черт. 10), привинченным в свою очередь винтами *w*, *w* к концам ко-



Черт. 7. Передний вид весов Неметца, покрытых колпаком, примерно в $^{1}/_{11}$ н. в.

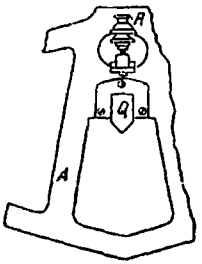
ромысла *A*. Винтовые стержни *O*, на концах заостренные, служат вместе с тем указателями углов отклонений коромысла при его качаниях, отсчитываемых, при приблизительных сравнениях гирь, невооруженным глазом, по осо-

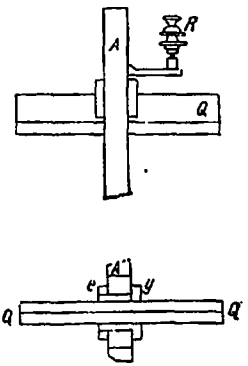


Черт. 8. Стальная платформа весов Неметца с показанием в плане частей их после снятия коромысла, чашек и средней колонны, примерно в $^1/_6$ н. в.

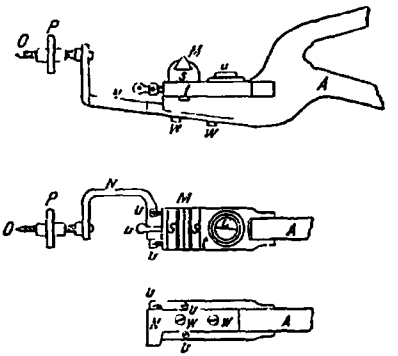
бым шкалам, расположенным по концам коромысла и укрепленным на перекладине, привинченной к колонне *B*, как показано на черт. 6. При точных взвешиваниях углы отклонений весов, элонгации, измеряются оптическим способом, для чего на коромысле *A* укреплены вертикально 2 призмы с полным внутренним отражением *a*, *a* (черт. 6 и 7), катеты коих обращены одни вперед, а другие: у правой призмы —

в правую, у левой — в левую боковые стороны. Середины катетов призм приходятся против центров трех окощек *44*, *44* и *44* (черт. 7) в стеклянном колоколе *19*, заменяющем ящик весов и служащем для герметического закрытия пространства, из которого может быть выкачиваем воздух. Окошки *44* закрыты стеклянными плоскопараллельными пластинками. Против боковых окошек *44* расположены на суппортах *38*, укрепленных на трубчатых колоннах *32*, призмы *37* с полным внутренним отражением, катеты коих одни обращены к окошкам *44*, а другие вверх.





Черт. 9. Детали закрепления средней призмы на коромысле весов Неметца.



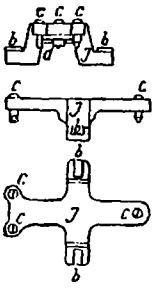
Черт. 10. Детали закрепления боковой призмы.

Над весами № 2 расположена в вертикальной плоскости, в коей находятся призмы *37*, железная полоса *mm* (черт. 4 и 5) на железных скрепах *n* и *n'* каменных столбов S_1, S_3 и S и S_2, стоящих на том же изолированном каменном устое *MMM* [черт. 3], на котором стоит такой же постамент *a* весов № 2. На полосе *mm* укреплены над катетами призм *37*, *37* две из молочного стекла шкалы *a'*, *b'* (черт. 7) с делениями: *b'* на миллиметры, а *a'* на сантиметры. Шкалы *a'* и *b'* освещаются электрическими лампами, кои вместе с полосою *mm* заключены в дурнопроводящую теплоту коробку *P* (черт. 4 и 5). Стенки коробки *P* двойные и состоят из картона,

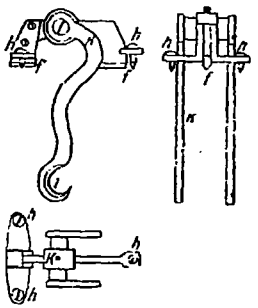
покрытого никелированною бумагою. Внизу коробки *P* имеются, против шкал *a'* и *b'*, соответствующие отверстия.[1] Против переднего окошка *44* установлена на деревянной полке, укрепленной к столбам S_2 и S_3 на том же устое *MMM*, зрительная труба *b* (черт. 3). Шкалы *a'* и *b'* расположены на полосе *mm* таким образом, что они, отразившись в призмах *37*, *37* и *a*, *a* [черт. 7], являются в фокусе окуляра в виде двух параллельных вертикально стоящих шкал, соприкасающихся по краям их длины, причем нулевыя деления шкал находятся: левой *a'* внизу и правой *b'* вверху. Вследствие этого сумма чисел, обозначающих деления обеих шкал, совпадающих между собою, одинакова по всей длине шкал и при каждом угле наклона весов и увеличивается с увеличинием наклона вниз *правого* плеча коромысла. Так как при отклонении коромысла весов на угол α изображения шкал в фокусе трубы *b* перемещаются оба в одну сторону: к 0 или к 200 на число делений, соответствующее углу 2α, то численные отсчеты элонгаций, определяемые посредством трубы *b*, будут отвечать показаниям шкалы, соответствующим углу 4α. Передача давления чашек и находящихся на них гирь боковым ножам коромысла *A* происходит при посредстве подушек *J* (черт. 11), опирающихся, во время покоя весов, тремя винтами *c*, *c*, *c* на соответствующие опоры, помещающиеся на двух столбиках *g'* (черт. 6): один спереди, а другой позади коромысла весов, привинченных к горизонтальной полосе *G* арретира *HH* (черт. 6). На нижней поверхности подушки *J* вставлена агатовая пластинка *d*, которою, при опускании арретира *HH*, подушка *J* садится на боковой нож коромысла. Сверху подушки *J*, на боковых отростках, вделаны две агатовые пластинки *b*, *b*, [черт. 11], на кои садятся две стальные призмы *f*, *f* (черт. 12) верхней подвески *k*, изображенной на черт. 12, опирающейся во время покоя весов тремя винтами *h*, *h*, *h* на соответствующие опоры, помещающиеся на трех столбиках *g*, *g*, *g* (черт. 6), привинченных к той же полосе *G*, к коей укреплены столбики *g'*. К нижним крючкам *i* верхней подвески *k* подвешивается средняя подвеска *L* (черт. 13), горизонтальная ось *k'* коей лежит на крючках *i*. Винтовые стержни *r*, *r* с контргайками *p*, *p*, служат для регулировки длины подвески. Болтик *o* скреп-

[1] Призмы *37*, *37*, помещенные на суппортах *38*, *38*, применены Главною палатою к весам № 2 для того, чтобы, по возможности более, удалить лампы, освещающие шкалы *a'* и *b'*, от весов и чтобы, в то же время, шкалы *a'* и *b'* укрепить на том уединенном устое *MMM*, на котором находятся и весы № 2.

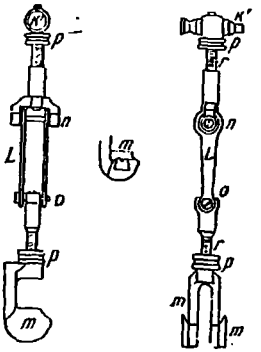
ляет боковые щеки подвески *L* с нижнею вилкою *m*. Ось *n*, *n* соединяет шарнирным способом верхнюю часть подвески с нижнею. На конце подвески имеется вилка *m* с агатовыми пластинками *l*, на коих опирается стальная призма *x* нижней подвески *c*, *c* (черт. 6, 7 и 14) с тремя регулировочными винтами *S*, *S*, *S* и с четырьмя упорными винтами, концы коих у одной пары заострены, а у другой закруглены. На этих винтах лежит соответствующими гнездами переносная для гирь чашка *T* (черт. 6, 14 и 15) с загнутыми продольными краями, один из коих, обращенный к колонне *B*, у обеих чашек снабжен зубцами (черт. 14), на которые при помощи системы подвижных крючков *13*, насаженных на осях *36* и



Черт. 11. Подушка боковой призмы.



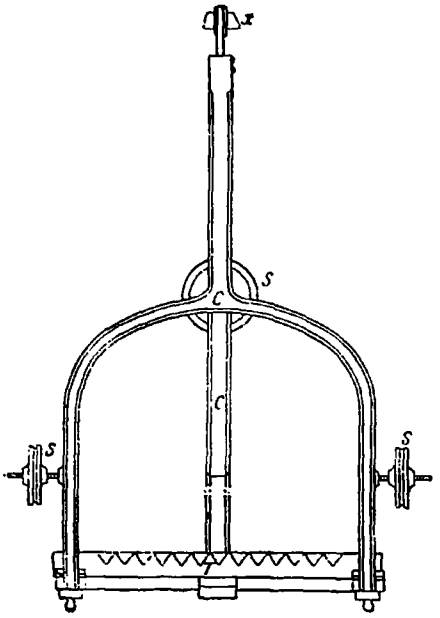
Черт. 12. Верхняя подвеска чашки весов.



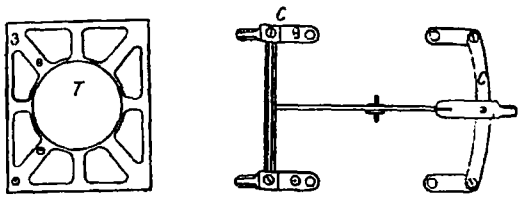
Черт. 13. Средняя подвеска чашки весов.

37 (черт. 6 и 8), и эксцентриков *12*, сидящих на осях *11*, *15* и *17*, возможно накладывать на левую и на правую переносные чашки *T* и снимать с них подвешенные на крючках маловесные гирьки (от 1 до 100 мг) особой формы, из проволоки, с 2 отгибами. Одним отгибом гирьки сидят на крючках, а другим садятся в углубления зубчатого края чашки. Крючки *13*, коих на левой оси (*36*) 10 штук, а на правой (*37*) 13 штук, свободно сидят на своих осях, опираясь все время на эксцентриках *12*, кои расположены на осях *11* и *15* по 10 штук на каждой и на оси (*17*) 3 штуки. Эксцентрики, сидящие на одной оси, вращаются одновременно все вместе со своею осью. Очертание эксцентриков таково, что пока первый эксцентрик не опустит в крайнее нижнее положение поддерживаемый им крючок, все остальные эксцентрики, вращаясь вместе с осью, поддерживают свои крючки в начальном приподнятом положении. Вслед

за тем, когда первый крючок занял свое нижнее положение, а ось эксцентриков продолжает вращаться в ту же сторону, начинает опускаться второй эксцентрик, причем опущенный крючок остается в своем положении, а третий и остальные находятся в приподнятом положении; за вторым опускается третий крючок и так до последнего, при этом каждый крючок поворачивается на угол около 36°. Вообще, при опускании какого-либо крючка, все предыдущие находятся в самом нижнем, а все последующие — в самом верхнем положении. Вследствие этого накладывать на чашки и снимать с них гирьки возможно лишь последовательно одну гирьку за другою. Чтобы небольшим сравнительно числом гирь (число крючков = 23) достичь возможности накладывать на чашки небольшие веса для уравновешивания гирь, например в разреженном пространстве, проф. Круспер предложил следующую комбинацию гирь: 3 штуки по 100 мг, 10 штук по 10 мг и 10 штук по 11 мг, располагая их: гири в 100 мг на крючках, отвечающих эксцентрикам оси *17*, — в 11 мг на крючках, соответствующих эксцентрикам оси *15*, и — в 10 мг на крючках оси *36*. Сравниваемые гири кладут на чашки весов так, чтобы более тяжелая находилась, до уравновешивания, всегда на левой чашке, для



Черт. 14. Продольный вид нижней подвески чашки весов Неметца, вместе с переносною чашкою, примерно в $^2/_5$ н. в.



Черт. 15.

T — вид переносной чашки весов снизу и *CC* — вид нижней подвески чашки весов снизу, примерно в $^1/_5$ н. в.

того, чтобы, прибавляя на правую чашку, при помощи означенной комбинации гирек, последовательно увеличивающиеся на 1 мг весá от 1 [до] 320 мг, довести гири, находящиеся на чашках весов, до необходимой, для сравнения их, степени равновесия. При этом приходится в большинстве случаев накладывать гирьки на обе чашки: например, чтобы положить на правую чашку 9 мг, надо положить на левую чашку 9 гирек в 10 мг, а на правую 9 гирек в 11 мг; чтобы увеличить вес правой чашки на 41 мг, надо на правую чашку положить гирьку в 100 мг и гирьку в 11 мг, а на левую — 7 гирек в 10 мг; чтобы получить прибавку в весе в 320 мг, надо на правую чашку положить все 3 гирьки в 100 мг и все 10 гирек в 11 мг, а на левую 9 гирек в 10 мг и т. д.

Оси *11*, *15* и *17* приводятся во вращение при посредстве конических зубчаток *10*, *14* и *16* (черт. 6 и 8), насаженных на соответствующие вертикальные оси, проходящие чрез стальную платформу *D*, на наружных концах коих имеются такие же зубчатки, сцепляющиеся с зубчатками, насаженными на горизонтальных осях ε и δ, показанных на черт. 6, причем ось δ двойная и состоит из трубы, вращающей ось *15*, и проходящего сквозь нее стержня, вращающего ось *17*. Ось ε приводит во вращение ось *11*.

Арретиры коромысла, подушек и подвесок, а также чашек (нижних подвесок *C*, *C*) приводятся в действие вращением оси γ при посредстве насаженного на конце ее колеса β (черт. 6). Другой конец оси γ оканчивается под платформою *D* конической зубчаткою, сцепляющеюся с другой зубчаткой на вертикальной оси зубчатого колеса *39* (черт. 8), приводящего во вращение зубчатку *40*, на оси которой, проходящей сквозь полое основание колонны *B*, насажены эксцентрики, действующие на стержни арретиров: коромысла (*FF*), подушек и подвесок (*HH*), и зубчатое колесо, движущее горизонтально расположенную на платформе *D* зубчатую рейку *6*, *6*.[1]

Рейка *6*, *6*, двигаясь продольно, приводит во вращение 4 зубчатые колеса *7*, *7*, расположенные внизу столбиков *8*, *8*

[1] Эксцентрики, действующие на стержни арретиров *FF* и *HH*, и зубчатое колесо, движущее зубчатую рейку *6*, *6*, а также направляющие стержней арретиров скрыты внутри колонны *B*, которая до сих пор не разбиралась в Главной палате. О присутствии их возможно судить по аналогии с известными устройствами в других весах (Эртлинга), а также по тем движениям, которые они вызывают в частях механизмов, сопряженных с ними.

(черт. 6 и 8), прижимаемых пружинками к эксцентрикам, сидящим на тех же осях, на коих насажены зубчатки *7*, рядом с последними. Столбиков *8*, *8*, арретирующих нижние подвески *C*, *C* (чашки), для каждой подвески три, из коих два соединены внизу перекладиною *9*, *9* (черт. 8). Посредине перекладины имеется нажимаемый пружинкою на соответствующий эксцентрик стержень, который приводит в движение парные столбики *8*, *8*. Концы столбиков *8*, *8* (парные заострены, а третий закруглен) при вращении эксцентриков то в ту, то в другую стороны или упираются в соответствующие углубления нижних подвесок *C*,*C* и устанавливают их в определенном положении неподвижно, или же освобождают их от всякой опоры снизу. Перестановка переносных чашек *T*, *T* и гирь, находящихся на них, с одной подвески *CC* на другую (черт. 6) производится вращением трубчатой оси, концентрически обхватывающей ось γ помощью колеса α, насаженного на наружном конце оси, на другом конце которой имеется коническая зубчатка, сцепляющаяся с такою же зубчаткою, насаженною на оси цилиндрического зубчатого колеса *1* (черт. 6 и 8), приводящего в действие два зубчатые колеса *2*, *2*, лежащие одно над другим и составляющие одно целое с концентрическими кольцами *x* и *w*. Кольцо *x* снабжено четырьмя косыми выступами с прорезами внутри, как изображено на черт. 6, расположенными на концах двух пересекающихся под прямым углом диаметров, внутренняя же поверхность кольца внизу снабжена по всей окружности зубцами *2*, *2*, сцепляющимися с зубчатым колесом *1*. Кольцо *w*, меньшего нежели кольцо *x* диаметра, помещено внутри кольца *x* и снабжено снаружи четырьмя стерженьками, входящими в прорезы косых выступов кольца *x*. Два противоположные стерженька снабжены стальными шариками, диаметром равными ширине прореза, два же другие значительно длиннее первых, снабжены кроме стальных шариков, помещающихся в косых выступах кольца *x*, еще стальными наконечниками *4*, *4* (черт. 6), ходящими вверх и вниз, вместе с кольцом *w*, в вертикальных стойках направляющих коробок *5*, *5*. На кольце *w*, над стерженьками *4*, *4*, имеются две стойки, к которым привинчены две крестовины *u*, *u* с четырьмя винтами каждая, из коих концы двух — вверху заострены, а двух других закруглены. Этими винтами, при подъеме кольца *w*, подхватываются переносные чашки *T*, *T*, для чего у последних имеются снизу по два углубления, соответствующих заостренным концам винтов, и снимаются с подвесок *C*,*C* и *CC*. На

внутренней поверхности кольца *w* внизу имеется такая же зубчатка, как и на кольце *x*, расположенная сверху последней так, что когда кольцо *w* находится в самом нижнем положении, то зубцы обеих зубчаток лежат один на другом и производящие их поверхностей совпадают. Зубчатка кольца *w* расположена не по всей внутренней поверхности кольца, а по двум хордам, лежащим друг против друга. Промежутки между концами хорд представляют гладкие поверхности и расположены посредине окружности кольца между двумя наконечниками *4*, *4* по направлению, перпендикулярному к плоскости коромысла. Когда кольцо *w* опущено, как показано на черт. 6, наконечники *4*, *4* находятся между вертикальными стойками коробок *5*, *5*, а один из промежутков на внутренней поверхности кольца *w*, свободный от зубцов, находится против зубчатого колеса *1* (черт. 8). При вращении по направлению часовой стрелки колеса α и трубчатой оси, на которой оно насажено, вращается зубчатое колесо *1*, а вместе с ним вращается вправо и кольцо *x*, причем, так как наконечники *4*, *4*, находясь между стойками направляющих коробок *5*, *5*, препятствуют вращению кольца *w*, то последнее, под действием косых плоскостей вырезов четырех выступов кольца *x*, на коих покоятся шарики стерженьков кольца *w*, должно подниматься вверх, а вместе с кольцом *w* поднимаются вверх скрепленные с ним крестовины *u*, *u*, которые на некоторой вышине своего подъема подхватывают чашки *T*, *T* и, наконец, снимают их с подвесок *CC*, *CC*. В это время наконечники *4*, *4* поднимутся выше удерживавших их стоек и потому начнется совместное вращение кольца *w* и чашек *T*, *T* с кольцом *x* около общей их оси, проходящей чрез ось колонны *B*, причем зубцы кольца *w* входят в сцепление с колесом *1*. Сделав поворот на 180°, наконечники *4*, *4* придутся над промежутками между стоек направляющих коробок *5*, *5*, которые наискось разделены особыми пружинками, упирающимися свободными концами в стойки, расположенные со стороны входа (при вращении колец) наконечников *4*, *4*. Наконечники *4*, *4* на некотором расстоянии от предельного поворота на 180° преодолевают при проходе над стойками, со стороны входа, расположенные сверху стоек пружинки, загнутые вниз концы коих опускаются при этом в промежутки между стойками, а затем отгибают расположенные наискось, в промежутках между стойками, означенные выше пружинки до тех пор, пока свободные концы этих пружинок не будут прижаты к противоположным стойкам и

пока, таким образом, не преградят сами путь дальнейшему своему вращению. В это время пружинки, расположенные поверх стоек, освободятся от действия наконечников *4*, *4* и поднимутся вверх, вследствие чего загнутые концы их преградят путь к обратному вращению наконечников, а в то же время второй, свободный от зубцов, промежуток колеса *w* придется против колеса *1*. Вращая затем колесо α в сторону противоположную, наконечники *4*, *4*, встречая со стороны пружинок препятствие вращению в обратную сторону, станут под действием косых поверхностей четырех выступов кольца *x* опускаться вместе с кольцом *w* вниз, и таким образом чашки *T*, *T*, переменив свое положение на 180°, сядут снова на подвески *CC*, *CC*, и затем крестовины *u*, *u* удалятся от чашек *T*, *T* настолько, чтобы при опускании коромысла и чашек (арретировке) не мешать свободному качанию весов.

Горизонтальные оси *5*, *6*, *7* (черт. 3), приводящие в действие описанные механизмы, сочлененные вблизи платформы *D* с соответствующими отростками посредством шарниров Гука, могут быть произвольной длины, и потому описанные манипуляции могут быть производимы наблюдателем с известного от весов расстояния. В Главной палате длина означенных осей от платформы *D* равна 2.2 м. На концах осей, со стороны наблюдателя, имеются барабаны с делениями, указывающими происходящие внутри весов действия, производимые наблюдателем при вращении осей. Вертикальные оси, проходящие сквозь платформу *D*, действуют при вращении подобно обыкновенным пробочным кранам, т. е. при своем вращении не пропускают воздуха во внутрь весов.[1]

Весы № 2 предназначены, как сказано было выше, для взвешивания в разреженном пространстве, ограниченном с одной стороны платформою *D*, а с другой стороны стеклянным, внизу цилиндрическим, а вверху шарообразным колоколом *19* (черт. 7). Диаметр колокола около 51.4 см, высота около 73 см. Вместимость его равна около 134 л. Толщина стекла, из коего сделан колокол, равна 6 мм. Для выкачивания из-под колокола воздуха вделаны в платформу *D* две трубочки *18*, *18* (черт. 8), снабженные внизу платформы двумя плотно притертыми коническими трубчатыми кранами *41*, *41*

[1] Подробное устройство герметического затвора при вращении осей в платформе *D* не может быть описано в настоящей статье, так как чертеж его не был представлен в Палату г-ном Неметцом, а подходящего случая для разборки затвора до сих пор не представилось.

(черт. 7), на кои надеваются резиновые трубки, сообщающие колокол с насосом. Для подъема и опускания колокола устроена стойка, состоящая из деревянных обвязок *34* и *33* (черт. 7), связанных тремя металлическими трубами *32*. Стойка эта устанавливается на трех особых винтах *35*, опирающихся на соответственные металлические подкладки *36*. К стеклянному колпаку *19* прикреплены снаружи, на замазке, два металлических кольца: *42* с тремя пластинками *46*, и 43 с тремя роликами *30*. К пластинкам *46* укреплены стальные тросы, направленные вверх в металлических трубках *31*, кои вместе с тем служат направляющими для роликов *30*. Тросы, по выходе из трубок *31*, огибают особые ролики, помещенные в трубах *32*, и спускаются в последних вниз. К концам тросов прикреплены грузы, уравновешивающие стеклянный колокол *19*. К вершине колпака прикреплена на мастике металлическая тарелка с выступом в центре. Выступ этот при посредстве болта *29* соединен с направляющим стержнем *27*, скрепленным с другим горизонтальным стержнем, соединенным с вертикальною металлическою трубкою *28*, вставленною в трубу *32*, находящуюся позади колокола. Трубка *28* снабжена на внешней боковой поверхности зубчатою рейкою, сцепляющеюся с зубчатым колесом *26*, сидящим на одной оси с коническою зубчаткою *24*, находящеюся в сцеплении с такою же зубчаткою *25*, сидящею на вертикальной оси *23*, на конце которой, под платформою *D*, насажена тоже коническая зубчатка *22*, сцепляющаяся с зубчаткою, сидящею на горизонтальной оси *21*, на другом конце которой имеется рукоятка *20*. При вращении рукоятки то в одну, то в другую стороны, колокол *19* то поднимается, то опускается. На черт. *7* знаком *45* обозначен термометр, помещенный на вертикальной стойке под колоколом.

Взвешивания на весах № 2 с автоматическою заменою одной гири другою возможны только по способу Гаусса. Центрировка гирь на чашках достигается посредством совмещения, наглаз, геометрических центров гирь и чашек. Особого приспособления для сей цели в весах № 2 не имеется.

Весы № 2 установлены в весовой комнате № 3 на каменном фундаменте *a* (черт. 3 и 4), помещающемся на общем изолированном устое *MM*, вблизи столбов *S* и S_1, и обозначены на чертежах буквою *A*. Наблюдатель, во время взвешивания, помещается в особом отделении *ZZ* (черт. 3 и 5), устроенном в весовой комнате. Стенки отделения устроены совершенно так, как щит *y* (черт. 2), отделяющий наблюдателя от весов Рупрехта № 1 (стр. 656 и 657). В этом отде-

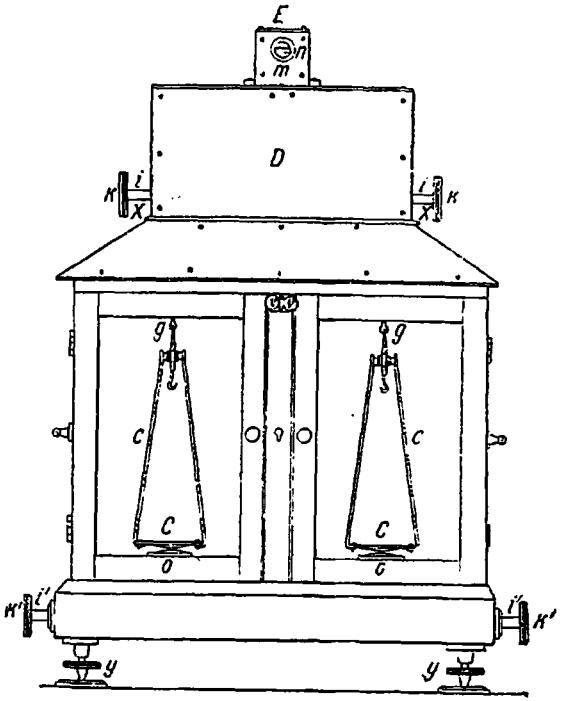
лении помещаются концы осей *5*, *6*, *7* (черт. 3) и зрительная труба *b*.

§ 5. Главные элементы весов № 2:

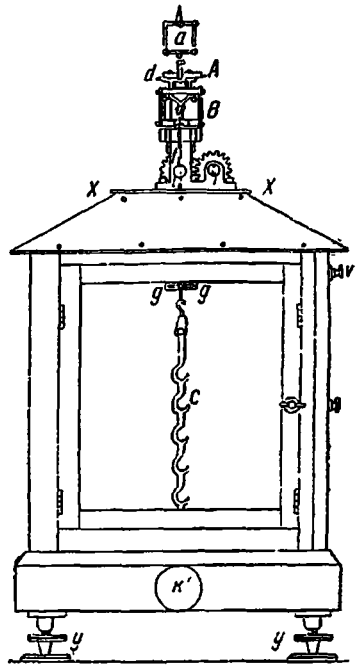
Вес коромысла	518.324	г
» правой (*R*) подушки	21.451	»
» » » верхней подвески	27.011	»
» » » средней подвески	28.387	»
» » » нижней подвески	237.319	»
» переносной чашки со знаком *O* (r_0)	106.022	»
Вес правой подушки с подвесками и переносною чашкою (r_0)	420.190	»
Вес левой (*L*) подушки	21.576	»
» » » верхней подвески	27.102	»
» » » средней подвески	28.169	»
» » » нижней подвески	237.322	»
» переносной чашки без знака (r)	106.022	»
» левой подушки с подвесками и переносною чашкою (r)	420.191	»
Вес коромысла с обеими подушками, подвесками и переносными чашками (r и r_0)	1358.615	»
Толщина металла коромысла	6	мм
Высота коромысла по средине	62	»
Длина ножей (призм) коромысла:		
среднего	66	»
боковых	11.7	»
Расстояние между боковыми призмами (длина коромысла)	288	»
Площадь переносной чашки (r или r_0) вместе с площадью вырезов (106×90) мм²	95.40	см²
Площадь той же чашки за вычетом вырезов	59.89	»
» » » » , когда на ней лежит в центре пластинка из горного хрусталя *a* или *b*	59.89	»
Площадь той же чашки, когда на ней лежит в центре пластинка из горного хрусталя *c* или *d*	74.54	»
Расстояние шкалы от середины диагональной плоскости прямоугольной боковой призмы *37* (черт. 7)	2.310	м
Расстояние середины диагональной плоскости боковой призмы *37* (черт. 7) от середины такой же плоскости прямоугольной призмы на коромысле весов (*a*)	0.445	»
Расстояние середины диагональной плоскости прямоугольной призмы на коромысле весов (*a*) от фокуса окуляра зрительной трубы	2.962	»
Расстояние изображения шкалы (a', b') от фокуса окуляра зрительной трубы	5.717	»
Делений на левой шкале 20, каждое в	10	мм
» » правой » 200 » »	1	»
1 div. миллиметровой шкалы отвечает углу отклонения коромысла весов, равному	18.72″	
15 div. той же шкалы отвечают углу отклонения коромысла весов, равному	4′40.76″	
0.05 div. той же шкалы отвечает углу отклонения коромысла весов, равному	0.94″	

в) Весы Эртлинга № 3 до 100 г, устроенные по идее проф. Д. Менделеева

§ 6. Весы Эртлинга, обозначенные № 3, приобретены в 1895 г. Весы эти отличаются от известного типа весов Эртлинга устройством предложенного проф. Д. Менделеевым ящика из красной меди *DE* (черт. 16 и 18), привинчи-



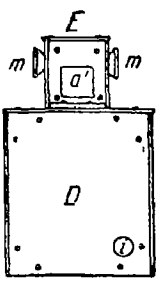
Черт. 16. Передний вид весов Эртлинга № 3 с ящиками, примерно в $^1/_8$ н. в.



Черт. 17. Боковой вид тех же весов без верхнего металлического ящика, примерно в $^1/_8$ н. в.

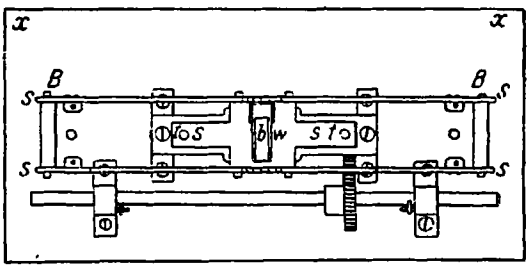
ваемого к верхней плоской поверхности *xx* (черт. 19 и 20) крышеобразной, тоже из красной меди, крышки нижнего, деревянного со стеклами (черт. 16 и 17) ящика весов, устанавливаемого на четырех винтовых ножках *y*. Ящик *DE* закрывает со всех сторон коромысло *A* (черт. 17 и 21) и остальные части весов, за исключением подвешиваемых к боковым подушкам *e* (черт. 22) чашек *C* (черт. 16 и 17), которые находятся в нижнем отделении весов. В крышке *xx* нижнего

ящика имеются лишь два небольшие круглые отверстия для пропуска тонкой проволочной подвески *f* (черт. 22). Ящик *DE* устроен, главным образом, для равномерного распределения по всей длине коромысла теплоты от наблюдателя и вообще от окружающих весы предметов, а также для предохранения коромысла от пыли.



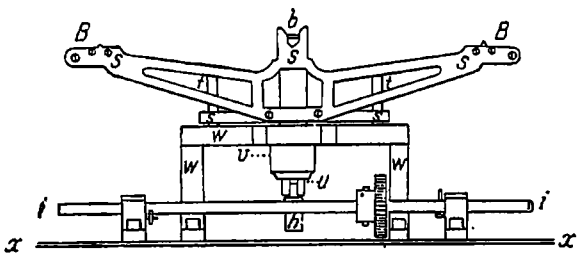
Черт. 18. Боковой вид верхнего металлического ящика, примерно в 1/8 н. в.

Бронзовое коромысло весов *A* (черт. 21) снабжено тремя агатовыми призмами *d'* *d* и *d'*. Средняя призма *d* лежит на агатовой же подушке, помещенной на бронзовой подставке *b* (черт. 23 и 20), составляющей одно целое со стойкою *w*, *w*, *w* и направляющею арретир втулкою *v* (черт. 20). На боковые призмы *d'*, *d'* надеваются с агатовыми пластинками подушки *e* (черт. 22), к коим подвешиваются проволочные подвески *f*. На нижние крючки подвески *f* навешиваются дужки *g* (черт. 22) с передвигающимися по винтам противовесами *q*. К дужкам *g* подвешиваются серебряные чашки *C* с боковыми бронзовыми пластинками *c*, *c* (черт. 16 и 17) с вырезами, в коих могут быть располагаемы сравниваемые гири в виде проволок. Посредине коромысла *A*, вверху, укреплена металлическая рамка со стрелкою и флюгером. В рамку вставлено стеклянное зеркальце *a* (черт. 17 и 21), высеребренное с двух противоположных сторон, с целью производить оптические отсчеты колебания коромысла одновременно двумя наблюдателями, для чего в двух стенках ящика *E* сделаны два четырехугольные отверстия *a'* (черт. 18), закрытые плоско-параллельными стеклами. Для грубых отсчетов колебания весов служат стрелка и укрепленная внутри ящика *E* шкала *n*, видимые сквозь круглое окошко *m*, сделанное в передней стенке ящика *E* (черт. 16). Арретир *B* (черт. 19 и 20) коромысла *A* и подушек *e* состоит из двух латунных с вырезами щек *S*, *S*, привинченных к пластинке *ss* и скрепленных по концам

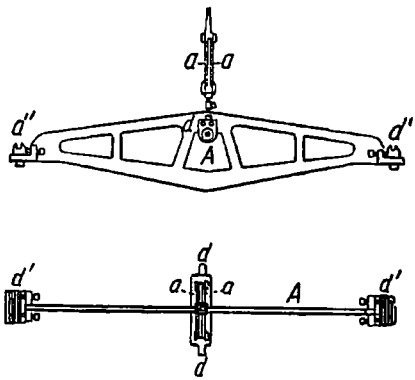


Черт. 19. Арретир коромысла весов в плане, примерно в 1/4 н. в.

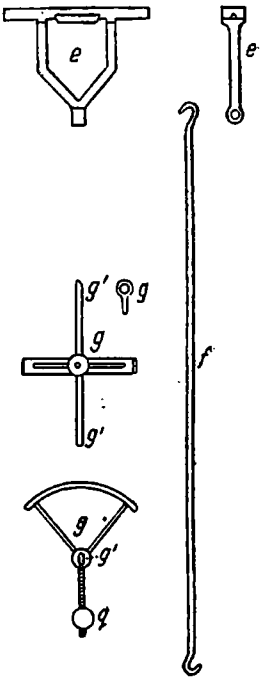
поперечными перекладинами. Пластинка *ss* привинчена винтом к вертикальному стержню *u* с роликом на конце и имеет два, по концам, круглые отверстия, коими она надета на два вертикальные цилиндрические стержня *t*, *t*, укреплен-



Черт. 20. Вид того же арретира спереди.



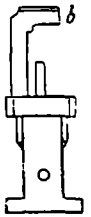
Черт. 21. Виды коромысла весов Эртлинга спереди и в плане, примерно в $^1/_4$ н. в.



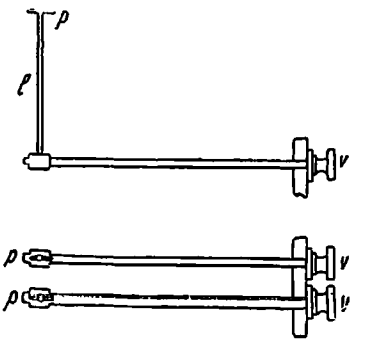
Черт. 22.
e — подушка боковой призмы весов Эртлинга № 3; *f* и *g* — составные части подвески чашки весов.

ные к стойке *w*, *w*, *w*. Стержни *t*, *t* и муфта *v* служат направляющими арретира *B* при его движениях вверх и вниз. Движение арретира происходит вследствие вращения оси *i*, *i*, снабженной головками *k*, *k* (черт. 16). На оси *i*, *i* насажена цилиндрическая зубчатка, сцепленная с такою же зубчаткою, сидящею на оси *i'* (черт. 17), на коей насажен эксцентрик *h* (черт. 20), действующий непосредственно на ролик вертикального стержня *u*, несущего пластинку *s*, *s*

и привинченный к ней арретир *B*. При вращении оси *i*, *i* в одну сторону арретир *B* поднимается вверх. Вилки, расположенные посредине длины щек *SS* подходят под цилиндрические выступы средней призмы *dd*, а четыре заостренные вверху винта, расположенные у концов щек *S*, *S*, подходят под боковые подушки *e*, снабженные в соответствующих местах углублениями, и, в известный момент, средняя призма коромысла *A* снимается вверх со своей подушки, а боковые подушки снимаются с призм. При вращении оси *i*, *i* в сторону противоположную — подушки садятся на свои призмы и средняя призма — на свою подушку, арретир же *B* опускается вниз настолько, чтобы не мешать свободному качанию коромысла. Арретир чашек состоит из кружков *o*, *o* (черт. 16) из слоновой кости с выпуклыми агатовыми пластинками посредине, укрепленных под чашками *C*, *C* на металлических круглых стерженьках с роликами, опирающимися на боковые поверхности эксцентриков, сидящих на оси двумя головками *k'*, *k'* (черт. 17). Стерженьки с кружками *o*, *o* свободно ходят в трубках, вделанных в дно нижнего ящика весов. Посредине, вверху передней стенки нижнего ящика весов, имеются два круглые отверстия, сквозь которые проходят свободно круглые стержни с головками *v*, *v* (черт. 16 и 24), к концам коих прикреплены под прямым углом другие стержни *l*, *l* с крючками *p*. Посредством последних возможно сажать на дуги *g* (черт. 22) и снимать с них маловесные гирьки в форме рейтера.



Черт. 23. Подставка средней подушки весов



Черт. 24. Стержни для накладывания маловесных гирек на чашки весов.

Весы № 3 установлены в центральной весовой комнате № 3 на мраморной площадке *z* (черт. 3 и 5), привинченной к железным кронштейнам, укрепленным к каменному столбу S_3. На чертежах (3 и 5) весы № 3 обозначены буквой *E*.

Главные элементы весов № 3:

Вес коромысла вместе с зеркальцем . . . . . 95.735 г

Вес правой подушки (*R*) (*e* черт. 22)	10.930	г
» » подвески в виде проволоки с крючками (*f* черт. 22)	1.962	»
Вес правой дуги (*g*) с противовесом (*q* черт. 22)	3.178	»
» » чашки (*C*) с боковыми пластинками с вырезами (*c*, *c* черт. 16 и 17)	28.296	»
Вес левой подушки (*L*) (*e*)	10.930	»
» » подвески (*f*)	1.962	»
» » дуги (*g*) с противовесом (*q*)	3.178	»
Вес левой чашки (*C*) с пластинками (*c*, *c*)	28.296	»
» коромысла с подушками, подвесками и пр.	184.467	»
Длина средней призмы	28.5	мм
» боковых призм	12.5	»
Расстояние между боковыми призмами	204.0	»
Высота коромысла посредине	42	»
Толщина металла коромысла	2—3	»
Диаметр чашек	6.5	см
Площадь чашек	33.18	см^2

г) Весы Эртлинга до 2 г, № 4

§ 7. Весы Эртлинга, обозначаемые № 4, для сравнения гирь весом не более 2 г, приобретены в 70-х годах. Весы помещены в обыкновенном стеклянном футляре, покрывающем металлическую, покрытую стеклянною пластинкою, платформу с четырьмя винтовыми ножками. На платформе, посредине, укреплены две латунные колонки, служащие основанием для средней подушки коромысла весов и вместе с тем направляющими для стержней арретира коромысла, приводимых в движение особыми эксцентриками. Устройство бронзового коромысла, подушек и арретира сходно с устройством вышеописанных весов № 3. Призмы и подушки агатовые. Средняя призма сплошная проходит сквозь металл коромысла. Подушка ее раздвоена по длине. Боковые призмы тоже раздвоены по длине, а соответствующие им подушки сплошные. Подвески и переносные чашки из серебра. Арретир коромысла, боковых подушек и чашек устроен так же, как и в весах № 3, с тою лишь разницею, что эксцентрики, расположенные внизу направляющих стержней арретиров, приводятся в действие одновременно оба при вращении одной оси, перпендикулярной к оси, на которой они насажены, и в то же время перпендикулярной к плоскости коромысла весов. Обе означенные оси прикреплены снизу к металлической платформе весов. Верхний металлический ящик весов № 3 заменен, по идее проф. Менделеева, в весах № 4 ящиком, внутри стеклянного футляра, составленным из пластинок красной меди и окружающим коромысло весов сбоку и сверху. С целью еще большего предохранения

коромысла весов от влияния перемен температуры окружающего весы воздуха и от лучистой теплоты наблюдателя и электрической лампочки, освещающей во время наблюдения шкалу коромысла, стеклянный футляр покрыт картонным ящиком, стенки коего снаружи и внутри обложены листами никкелированной бумаги. Отсчеты колебаний коромысла производятся посредством микроскопа, прикрепленного при помощи металлической пластинки к платформе весов. Оптическая ось микроскопа расположена перпендикулярно к плоскости шкалы, помещенной на конце стрелки весов, привинченной к коромыслу снизу. Шкала весов освещается посредством электрической лампочки *1* (черт. 4), расположенной вверху на стене на расстоянии около 4 м от весов. Лучи света лампочки посредством двух обыкновенных зеркал направляются сначала сверху вниз, во внутрь весов, и затем горизонтально на шкалу.

Весы № 4 установлены в весовой комнате № 3 на подобной же, как и весы № 3, мраморной полке, прикрепленной к столбу *S* (черт. 3 и 4), и обозначены на чертежах (3 и 4) буквой *B*.

Главные элементы весов № 4:

Вес коромысла со стрелкою и шкалою	11.858	г
» правой (*R*) подушки вместе с подвескою	2.978	»
» левой (*L*) подушки вместе с подвескою	2.978	»
» переносной чашки (*r*) без знака	0.857	»
» » » (r_0) со знаком	0.857	»
Вес коромысла со шкалой, стрелкой, подушками, подвесками и переносными чашками	19.528	»
Толщина металла коромысла	1	мм
Длина средней призмы	27	»
» боковых призм вместе с промежутком между двумя половинами	9	»
Длина одной половины боковой призмы	3	»
Расстояние между боковыми призмами (длина коромысла)	253	»
Высота коромысла посредине	19.5	»
Расстояние шкалы, находящейся на конце стрелки, от ребра средней призмы (длина стрелки весов)	156	»
Число делений на шкале	60	»
1 деление шкалы (1 div.)	0.25	»
Расстояние шкалы от фокуса окуляра микроскопа	245	»
1 div. шкалы отвечает углу отклонения коромысла весов	5′30.56″	
0.05 div. шкалы отвечают углу отклонения коромысла весов	16.53″	
15 div. шкалы отвечают углу отклонения коромысла весов	82′38.37″	
Площадь переносной чашки (*r* или r_0) =	3.46	см²
Диаметр » » » =	2.1	см

д) Весы Эртлинга до 50 г, № 5

§ 8. Весы Эртлинга, употребляющиеся при сравнении гирь до 50 г, приобретены в 70-х годах. Весы эти, обозначенные № 5, по устройству своему отличаются от весов № 4 лишь немногими деталями. А именно: в весах № 5 для укрепления подушки средней призмы коромысла весов имеется вместо двух, одна колонна, служащая в то же время и направляющею для арретира. Подушки и призмы коромысла сплошные агатовые. Переносных чашек в весах № 5 не имеется. В остальном весы № 5 устроены совершенно так, как и вышеописанные весы № 4. Весы № 5 установлены в весовой комнате № 3 на той же мраморной полке, как и весы № 4, прикрепленной к столбу *S*, и обозначены на черт. 3 буквою *T*.

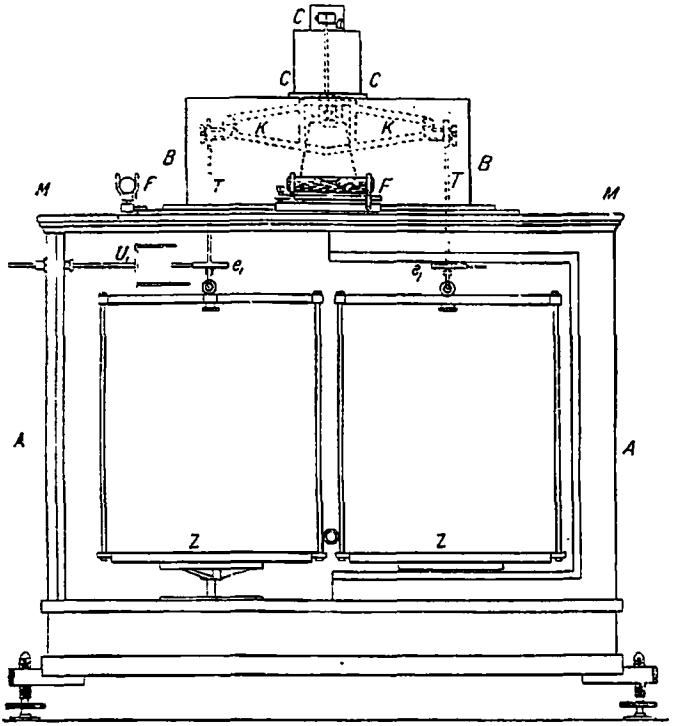
Главные элементы весов № 5:

Вес коромысла со стрелкою и шкалою	110.292	г
» правой (*R*) подушки	5.621	»
» левой (*L*) подушки	5.620	»
» правой подвески с чашкою	12.459	»
» левой » » »	12.460	»
» коромысла со стрелкою, шкалою, подушками, подвесками и чашками	146.452	»
Диаметр чашек	6.5	см
Площадь »	33.18	см^2
Толщина металла коромысла	2.5	мм
Длина средней призмы	28	»
» боковой »	17	»
Расстояние между крайними призмами (длина коромысла)	364	»
Высота коромысла посредине	34	»
Расстояние шкалы, находящейся на конце стрелки, от ребра средней призмы (длина стрелки весов)	156	»
Число делений на шкале	60	»
1 деление шкалы (1 div.)	0.25	»
Расстояние шкалы от фокуса окуляра микроскопа	250	»
1 div. шкалы отвечает углу отклонения коромысла в	3′39.43″	
15 div. » » » » » »	54′51.46″	
0.05 div. » » » » » »	10.97″	

е) Весы Шултце до 500 г, № 6

§ 9. Весы, обозначенные № 6, приобретены в 1895 г. от дерптского механика Шултце. Весы эти устроены подобно весам № 3 с верхним металлическим ящиком, в коем заключаются коромысло *KK* (черт. 25 и 26) и арретиры коромысла и подвесок. В нижнем же стеклянном ящике с плоскою деревянною крышкою и таким же дном поме-

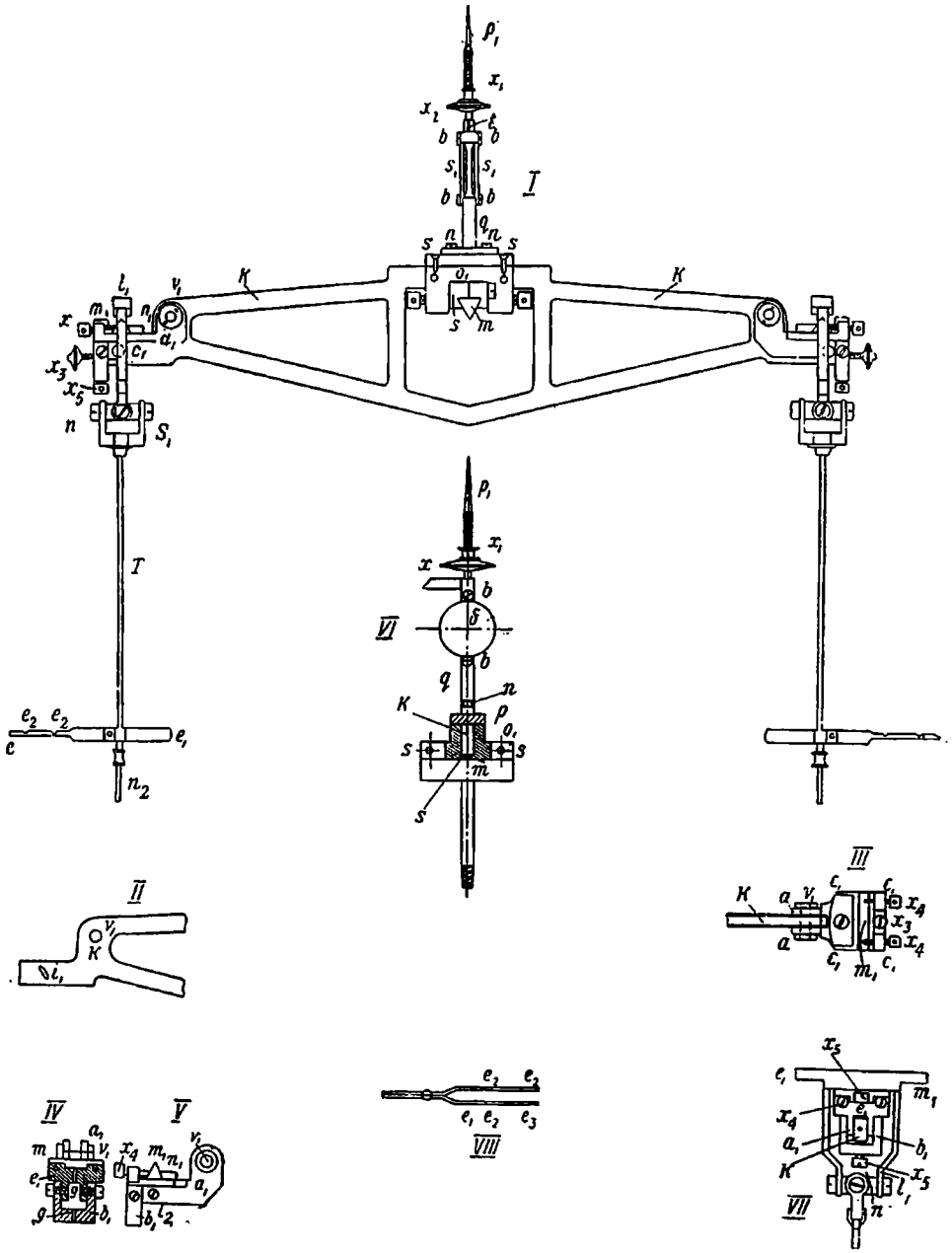
щаются чашки Z, Z с вилками e_1 и арретир чашек. На деревянной крышке нижнего стеклянного ящика помещена металлическая пластинка LL, служащая основанием стойке E (черт. 27, 28 и 29), в верхних пазах которой закрепляется выдвижная пластинка (c) с агатовой подушкой (черт. 27, 28)



Черт. 25. Передний вид весов Шултце, примерно в $^1/_4$ н. в.

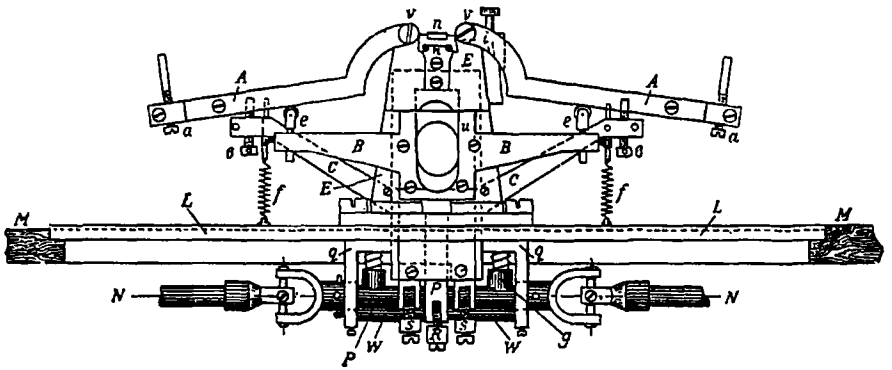
средней призмы m коромысла KK (черт. 26, 29); коромысло латунное, никкелированное, отличается от коромысел вышеописанных весов своеобразным закреплением в нем агатовых призм.

Средняя призма укреплена в особой металлической части o_1 (фиг. 26, I и VI) с разрезанными по концам выступами S, S, в коих сделан с наклонными боковыми гранями паз для помещения в нем призмы m, зажимаемой винтами s, s.



Черт. 26. Коромысло весов Шултце и его детали, примерно в 1/13 н. г.

Металлическая часть o_1 соединена посредством винтов с коромыслом KK, в котором имеются в местах прохождения винтов небольшие продольные прорезы, дозволяющие свободное передвижение части o_1 по длине коромысла в обе стороны при нажатии на нее тем или другим из упорных винтов. Часть o_1 сверху перекрыта пластинкою p, с которой она скреплена четырьмя винтами. К пластинке p прикреплена посредством двух винтов стойка q_1, оканчивающаяся стрелкой p_1 служащею для грубых отсчетов колебаний коромысла по шкале, прикрепленной внутри металлического ящика c, c, c (черт. 25). На стойке q укреплены посредством винтов два зеркала S_1, S_1, служащие для оптического отсчета колебаний весов,

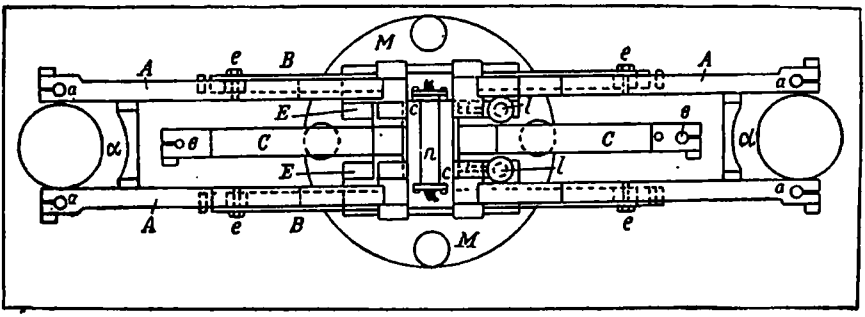


Черт. 27. Передний вид арретира коромысла весов Шултце.

а также надеты: гайка x_2 с контргайкою x_1 для изменения положения центра тяжести коромысла в вертикальном направлении и флюгер t для изменения упомянутого центра тяжести в горизонтальном направлении. Боковые призмы m_1, m_1 (черт. 26, *I*, *III*, *V*) укреплены на коромысле KK посредством пластинок n_1, n_1 и упорных винтов x_4, x_4 к пластинкам c_1 и c_1, составляющим одно целое с боковыми щеками a_1, a_1, вращающимися около осей v_1, v_1 и обхватывающими концы коромысла KK (черт. 26, *II*). К концам боковых щек a_1, a_1 привинчены винтами дуги b_1, b_1 (черт. 26, *I*, *IV*, *V*, *VII*), в нижних горизонтальных частях которых имеются винтовые нарезы, в которые входят упорные винты x_5, x_5. Против винтовых нарезов имеются такие же нарезы в пластинках c_1, c_1 для верхних упорных винтов x_5, x_5. Между верхними и нижними упорными винтами x_5, x_5 зажаты концы коромысла KK с прорезами t_1 [черт. 26, *II*],

сквозь которые проходят винты i_2, i_2 [черт. 26, *V*], стягивающие боковые щеки a_1, a_1 между собою и зажимающие с боков находящиеся между щеками a_1, a_1 концы коромысла *KK*. Действуя винтами x_4, x_4 и винтами, прижимающими пластинки n_1, n_1 к пластинкам c_1, c_1 (черт. 26, *III*), устанавливают ребра призм m_1, m_1, параллельно с ребром призмы m. Действуя же винтами x_5, x_5 и i_2, совмещают ребра боковых призм m_1, m_1, и средней m в одну плоскость, если предварительно означенные ребра были установлены в плоскостях, параллельных между собой.

Для подвешивания к коромыслу чашек *Z*, *Z* (черт. 25) служат подвески l_1, l_1 (черт. 26, *I* и *VII*) с агатовыми пла-

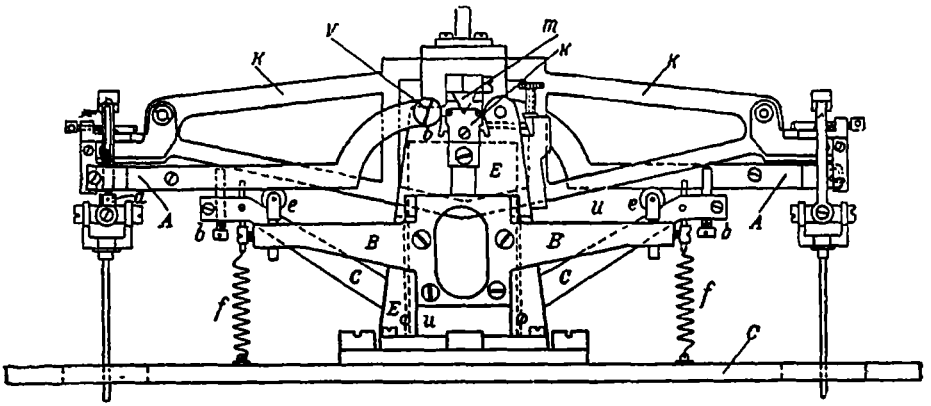


Черт. 28. Вид того же арретира в плане, примерно в $^2/_5$ н. в.

стинками (подушками), непосредственно лежащими на призмах m_1, m_1. С подвесками l_1, l_1 соединены посредством крестовин v_1, v_1 и вилок S_1, S_1 стержни *T*, *T* (черт. 25; 26, *I*), оканчивающиеся крючками, к которым подвешиваются чашки *Z*, *Z*. Верхние части стержней находятся в металлическом ящике *BB*, а нижние в стеклянном ящике *AA*. На концах стержней *T*, *T*, находящихся в стеклянном ящике, укреплены вилки e_1 (черт. 26, *I* и *VIII*) с зарубками e_2, e_2, на кои возможно накладывать маловесные гирьки из проволок, подвешенные на вилках v_1 (черт. 25).

Средняя призма коромысла *m* лежит во время колебания весов на агатовой подушке *n* (черт. 27, 28, 29), вделанной в металлическую со скошенными боковыми плоскостями пластинку *cc*, которая вдвинута в соответствующий паз стойки *EE* и в нем закреплена двумя горизонтально расположенными стальными штифтами *i*, *i*, свободно вставленными в отверстия стойки *EE* против правой боковой пластинки *cc*. В правой боковой плоскости пластинки *cc* имеются два неболь-

ших углубления, в кои означенные стержни *i*, *i* входят левыми концами, будучи нажимаемы с правых концов коническими поверхностями стальных вертикальных стержней *l*, *l*, ввинчиваемых в ту же стойку *EE*. Стойка *EE* состоит из двух щек: передней и задней, привинченных к круглой шайбе *MM*, скрепленной четырьмя винтами с пластинкой *LL*. Стойка эта служит как для закрепления подушки *nn*, так и для направления движений частей арретира коромысла и подвесок. Арретир коромысла состоит из кривой полосы *CC* с упорными по концам винтами *b*, *b*, поддерживающими во время арретировки



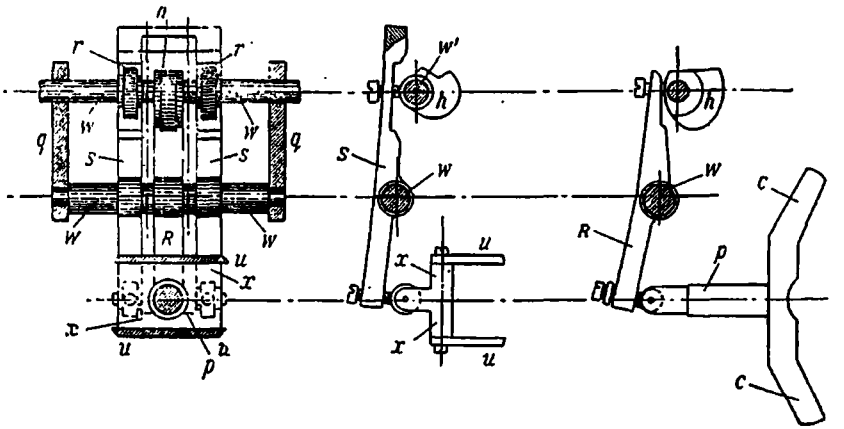
Черт. 29. Передний вид арретира коромысла весов Шултце, вместе с коромыслом, примерно в 3/8 н. в.

коромысло, и двух пластинок *k*, *k*, прилегающих к наружным плоскостям стойки *EE*.

К внутренним поверхностям пластинок *k*, *k*, обращенным к концам призмы *m*, привинчены особые пластинки с вырезами, наклонные плоскости коих соответствуют плоскостям призмы *m*, для того, чтобы при подъеме пластинок *k*, *k* вверх означенные пластинки своими вырезами подхватывали снизу оба конца призмы.

Кривая полоса *C*, *C* и пластинки *k*, *k* связаны между собой двумя широкими направляющими пластинками, плотно прилегающими к внутренним поверхностям стоек *E*, *E*. Означенные направляющие пластинки привинчены внизу к полосе *C*, *C*. Пластинки же *k*, *k*, находящиеся снаружи стоек *E*, *E*, в свою очередь привинчены к направляющим пластинкам вверху. Для свободного вверх и вниз движения пластинок *k*, *k* одновременно с направляющими пластинками имеются в стой-

ках E, E, по направлению движения связывающих обе пластинки винтов, вырезы. К полосе C, C, внизу, привинчен посредине цилиндрический стержень p (черт. 27, 30) с роликом на конце. Стержень p проходит сквозь круглые отверстия, имеющиеся в пластинках MM и LL, и упирается под пластинкою LL своим роликом в винт, находящийся на конце вращающегося около оси w рычага R. На конце рычага R имеется второй винт, упирающийся в боковую поверхность эксцентрика h, закрепленного на оси w'. На той же оси w'



Черт. 30. Детали механизма, приводящего в движение арретир коромысла весов Шултце.

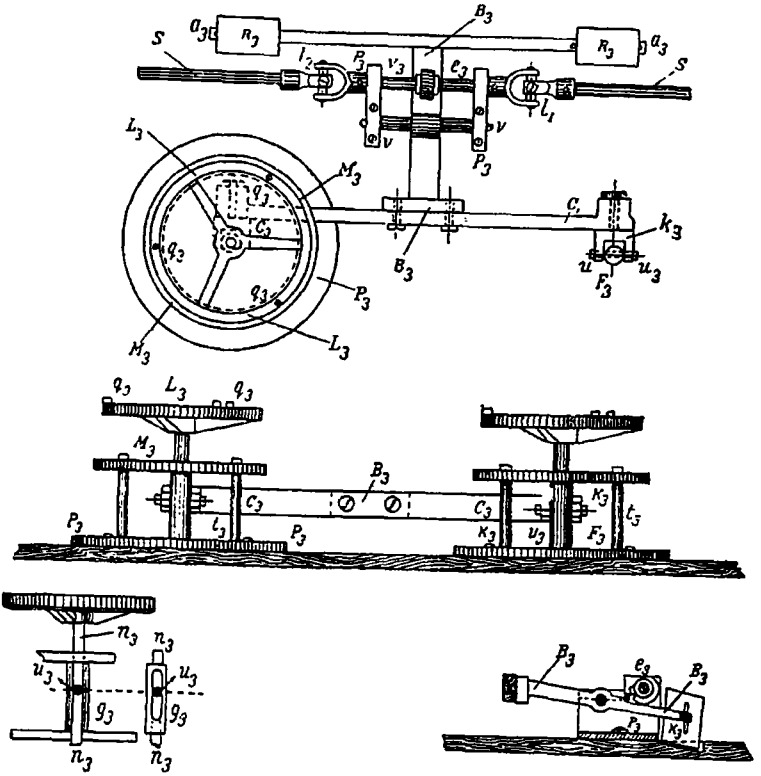
(черт. 30) закреплены еще два эксцентрика r, r, боковые поверхности коих касаются оконечностей винтов, расположенных на связанных между собою с одного конца рычагах S, S, вращающихся, как и рычаг R, около оси w. На других концах рычагов S, S имеются тоже винты, упирающиеся в два ролика, укрепленные к пластинке xx, связывающей вертикальные, с косыми боковыми плоскостями, пластинки u, u, составляющие часть арретира подвесок. Для прохода стержня p имеется в пластинке xx круглое отверстие. Пластинки u, u, пройдя сквозь соответствующие отверстия в пластинках, L, L и M, M, плотно прилегают к наружным плоскостям стоек E, E, образующих вместе с привинченными к ним особыми пластинками направляющие пазы для косых боковых плоскостей пластинок u, u. К пластинкам u, u снаружи их привинчены крестовины B, B (черт. 27, 28 и 29) с роликами e, e на концах, поддерживающими рычаги A, A, кото-

рые могут вращаться около осей v, v, прикрепленных к верхним выступам стоек E, E. Рычаги A, A попарно связаны поперечниками d, d (черт. 28) и по концам снабжены штифтами a, a, коими арретир подхватывает боковые подвески, снабженные соответствующими штифтам углублениями. По обоим концам оси w' (черт. 30) имеются шарниры Гука, соединяющие ось w' со стержнями N, N (черт. 27), проходящими сквозь боковые стенки стеклянного ящика AA, (черт. 25).[1] Внешние концы рычагов N, N снабжены тоже шарнирами Гука, с коими сочленяются или произвольной длины стержни, дозволяющие наблюдателю производить арретировку коромысла и подвесок с значительного расстояния от весов с правой или левой стороны их, или, как устроено в Палате, один короткий стержень с конической зубчаткою на конце, помещающийся в наблюдательной камере ZZ (черт. 3), к стенкам которой прикреплен стержень *11*, сцепляющийся, при посредстве такой же зубчатки, с означенной выше зубчаткой. Описанное расположение стержней и зубчаток дает возможность наблюдателю производить арретировку из камеры ZZ, в коей помещается также окуляр зрительной трубы N^2, посредством которой производятся оптические отсчеты колебаний коромысла. Арретир чашек весов помещается внизу стеклянного ящика весов AA, в промежутке между двумя деревянными днищами его, и состоит из качающегося на оси v, v, рычага B_3, B_3 (черт. 31), к одному концу которого привинчена полоса C_3, C_3 с вилками k_3, а к другому — стержень a_3, a_3 с противовесами R_3, R_3. Вилки k_3 обхватывают с боков стержни n_3, поддерживающие металлические кольца L_3 с тремя цилиндрическими, обтянутыми бархатом, выступами q_3, на коих покоятся во время арретировки чашки весов ZZ (черт. 25). Стержни n_3 снабжены боковыми винтами u_3, лежащими в горизонтальных прорезах разветвлений вилок k_3. Металлические трубки g_3 с вертикальными по направлению движения винтов u_3 прорезами служат для направления стержней n_3, n_3 при их движении вверх и вниз. Трубки g_3 припаяны к круглым пластинкам M_3, свинченным при посредстве болтов t_3 с нижними металлическими кольцами P_3. Для приведения арретира в действие, на оси v_3 насажен эксцентрик e_3, который при помощи шарниров Гука l_1, l_2 и стержней $S[S]$ может быть наблюдателем приведен во вращение или с значительного расстояния от весов, или из камеры ZZ (черт. 3 и 5) при

[1] Стержни N, N на черт. 25 не показаны.

помощи системы стержней и зубчаток, примененной к арретиру коромысла и описанной выше. Точно такая же система стержней и зубчаток применена и для накладывания посредством вилки v_1 (черт. 25) мелких гирек на чашки весов.

Оптический отсчет точных наблюдений над колебаниями коромысла производится посредством укрепленной на стене,



Черт. 31. Детали арретира чашек весов Шултце.

внутри весовой комнаты (черт. 3), против левого плеча коромысла весов D вертикальной шкалы *12*, изображение которой, отразившись от вертикального левого зеркальца S_1 (черт. 26, *I* и *VI*), падает на призму с полным внутренним отражением, установленную снаружи верхнего металлического ящика CC (черт. 25) весов на особом суппорте.[1]

[1] Призма и суппорт на черт. 25 не показаны.

Изображение шкалы, отразившись от гипотенузы призмы, направляется в установленную на кронштейне *13* (черт. 3) перегородки *Z* зрительную трубу *N*², в фокусе которой имеется неподвижная горизонтальная нить, относительно которой производятся отсчеты удвоенных углов отклонения коромысла.

Весы № 6 установлены в весовой комнате № 3 на мраморной полке z_1 (черт. 3), прикрепленной к столбу S_2, и обозначены на чертеже буквою *D*.

Главные элементы весов № 6:

Вес коромысла с вертикальными зеркалами	334.194	г
» правой подвески	43.318	»
» » чашки	305.095	»
» левой подвески	43.496	»
» » чашки	304.917	»
» коромысла вместе с подвесками и чашками	1031.020	»
Диаметр чашек	17	см
Площадь чашки	246.06	см²
Толщина металла коромысла	4.5	мм
Длина средней призмы	30	»
» боковых призм	20	»
Расстояние между боковыми призмами (длина коромысла)	252	»
Высота коромысла посредине	60	»
Расстояние шкалы от вертикального зеркальца на коромысле	3.83	м
Расстояние зеркальца на коромысле до середины отражающей плоскости прямоугольной призмы	0.19	»
Расстояние середины отражающей плоскости призмы до фокуса окуляра	1.15	»
Число делений на шкале	505	
1 деление шкалы (1 div.)	1	мм
1 div. шкалы отвечает углу отклонения коромысла	53.86″	
15 » » » » » »	13′27.83″	
0.5 » » » » » »	26.93″	

Глава третья

ПРИЕМЫ ВЗВЕШИВАНИЯ В ВОЗДУХЕ И ПРИВЕДЕНИЯ К ПУСТОТЕ, ПРИМЕНЕННЫЕ ПРИ ВОЗОБНОВЛЕНИИ ПРОТОТИПОВ

Способ точного взвешивания в воздухе, соединенный с наблюдением колебаний коромысла и с перекладкою грузов, предполагает (или имплицирует) неизменность как длины весового коромысла, так и веса нагрузок во все продолжение взвешивания, что составляет тем труднее исполнимое условие, чем более чувствительность весов, чем значительнее вес нагрузок, чем более разность их объемов и чем более длится единичное взвешивание, что очевидно из общеизвестной сущности условий равновесия весов и из возможности небольших перемен в длине плеч коромысла (зависящей, например, от случайных боковых перемен их температуры) и в плотности воздуха. А так как наблюдение колебаний и перекладывание грузов (по способу Борда и Гаусса) совершенно неизбежны при наиболее точных взвешиваниях,[1] потому что только этим путем можно доводить точность взвешивания — на весах не абсолютно точных — до высшей возможной степени, а для колебаний — при большой чувствительности весов и для перекладывания грузов — неизбежно затрачивать некоторое время, то одним из условий точности взвешиваний должно считать опреде-

---

[1] В торговле обыкновенно довольствуются определением тысячных долей веса, в лабораториях достигают до миллионных долей (например, 1 мг на 1 кг), а в точных метрологических взвешиваниях легко достигаются стомиллионные доли и могут определяться миллиардные доли (например, 0.001 мг при 1 кг). Это точность высшая, до какой ныне достигают при непосредственных измерениях целого и частей. Но она достижима только в исключительно благоприятных условиях, не только по отношению к качеству весов и к условиям взвешивания, но и по отношению к свойствам взвешиваемых предметов (особенно их твердости и неизменности в воздухе), например для платино-иридиевых гирь.

ление *влияния времени* на результат взвешивания. Прямой опыт показывает перемену в положении равновесия, происходящую даже с весами, поставленными в условия возможно полного сохранения постоянства всех окружающих обстоятельств, а в числе их и самого наблюдателя.[1]

Примеры такой перемены в положении равновесия во времени имеются в данных, сообщенных в главе 1-й (II части). А для объяснения постепенных изменений этого рода достаточно представить себе, что по обе стороны весов действуют не совершенно одинаковые условия теплотного лучеиспускания — и одно из плеч нагревается немного более, чем другое. Достаточно, чтобы изменение температуры одного плеча равнялось одной тысячной градуса, чтобы объяснить неравенства, достигающие при взвешивании 1000 г до 0.018 мг, если коромысло весов сделано из бронзы, коэффициент линейного расширения которой равен 0.000018.[2]

---

[1] Сперва — до середины 1897 г. — когда наши весы (№ 1 Рупрехта и № 2 Неметца) наблюдались обычным способом (как в иных метрологических учреждениях, например в Международном бюро в Бретейле), т. е. наблюдатель был удален от весов на 3—4 м, но был в той же комнате, — в наших точных взвешиваниях, как и повсюду, встречались иногда при нагрузке в 1000 г разности отсчета равновесий, доходившие до ±0.1 мг; но когда наблюдения стали производиться из другой комнаты и наблюдатели стали отделяться от весов особыми изолирующими перегородками (ч. II, гл. 2), тогда разности отдельных взвешиваний (или положений равновесия) редко стали превосходить 0.01 мг, из чего — помимо всяких гипотез — должно считать доказанным, что наблюдатель оказывает влияние (испусканием тепла) на точность взвешиваний, даже с расстояния в 4 м.

[2] Для того, чтобы при обычной организации взвешиваний (когда наблюдатель приближается к весам) по возможности устранить неизбежные неравенства бокового нагрева плеч, я предложил окружать коромысла толстостенною медною коробкою, как это сделано в весах № 3 (стр. 695) и № 6 (стр. 702), в расчете устранения (на основании хорошей теплопроводности меди) грубых неравенств, зависящих от приближения наблюдателя. Судя по опыту, это оправдывается. Но и при удалении наблюдателя, или после окружения коромысла медною коробкою, остаются, несомненно, причины малых неравенств нагрева (например в 0.001°), влияющие на постоянство равновесий, зависящие, по всему вероятию, от лучеиспускания стен, пола и потолка. Для их устранения, мне кажется, можно бы окружить коромысло весов (поверх ящика, в котором содержатся все части весов) колпаком из непрозрачного для тепловых лучей вещества, вращающимся около вертикальной оси, чтобы устранить следы неравномерности боковых влияний. Опыта здесь я, однако, не имею. Присовокуплю, однако, что долгое время я полагал, что большая часть малых неравенств определяется некоторым несовершенством арретировки, могущей переменять моменты плеч после арретирования. Но многочисленные взвешивания, производившиеся в Главной палате за последние годы на весах Рупрехта № 1 (651), окончательно убедили меня в том, что

Если же равновесие при данной нагрузке изменяется во времени, то влияние этой перемены необходимо указать, чтобы судить об истинном весе, так как он получается при перемене (перекладке) нагрузок, а для этого неизбежно расходовать время. По этой причине при наиболее точных взвешиваниях, кроме всего прочего, необходима такая *система* взвешиваний, при которой получались бы элементы, необходимые для поправок по отношению к влиянию времени.

Сведения, сюда относящиеся, составляют предмет дальнейшего изложения, причем имеется в виду исключительно прием Гаусса, состоящий, как известно, в том, что сперва определяется (по шкале весов) положение равновесия L_{AB} (т. е. тогда, когда груз A — на левой чашке, груз B — на правой), потом равновесие L_{BA} (грузы A и B переложены), и тогда, зная $n = 1$ div. (число миллиграммов, отвечающее 1 делению шкалы весов), находят[1]

$$A - B = \frac{1}{2} n (L_{AB} - L_{CA}).$$

хорошо устроенная арретировка при правильном обхождении с весами (и при удалении наблюдателя в другую комнату при взвешивании) не влияет на перемену положения равновесия, так как и без действия арретировочного прибора встречаются того же размера отступления от равновесия, как при арретировании, чему доказательство дают наблюдения над многими колебаниями, например, на стр. 57—58 в 1-й из предшествующих глав этой части [здесь не воспроизводимых].

[1] Основание этому способу расчета (Гаусс, Купфер и др.) дано давно и заключает в себе предположение, что при обоих взвешиваниях AB и BA отношение между длиною плеч осталось то же; для простоты доказательства назовем разность отсчетов $L_{AB} - L_{BA}$, выраженную в весе, т. е. произведение $n(L_{AB} - L_{BA})$ чрез a. Это значит, что если бы при взвешивании BA мы прибавили к B малый груз a, то отсчет (равновесие) в обоих случаях был бы тот же, а потому моменты равны. Назовем чрез l и l' длину левого плеча в первом и втором взвешиваниях, а чрез l_1 и l_1' — длины плеча правого. Если разность l от l' или l_1 от l_1' произошла от общего нагревания коромысла, то $\frac{l}{l'} = \frac{l_1}{l_1'}$, что и содержится в вышеуказанном предположении (отношение между длиною плеч остается неизменным).

Тогда при первом взвешивании

$$Al = Bl_1,$$

а при втором

$$(B + a) l' = Al_1'.$$

Такой способ расчета давал бы совершенно точный вывод в пределах неизбежных погрешностей (зависящих: а/ от неточности отсчета элонгаций, б/ от расчета по ним равновесий и в/ от установки арретиром коромысла и чашек на те же места при обоих взвешиваниях), если бы оба взвешивания производились в один и тот же момент времени, т. е. если бы при данной нагрузке равновесие оставалось постоянным. Но этого нет никогда в действительности — даже тогда, когда арретировочный аппарат не действует и колебания идут только под влиянием сил и обстоятельств, действующих на освобожденное коромысло с грузами. Множество доказательств этому дают наши наблюдения, помещенные на стр. 465, 466, 468, 474, 478, 480, 502—513. Достаточно, например, взглянуть на данные колебаний n° 884 (стр. 474), чтобы видеть довольно правильную последовательность изменений положения равновесия от $L = 181.33$ к 181.97, затем от 181.47 к 181.68, опять с постепенным уменьшением до 181.29 и вновь с возрастанием до 181.77. От наименьшего (181.29) до наибольшего (181.97) отсчета разность $= 0.68$ div., а так как этот раз 1 div. $= 0.0238$ мг, то по весу эта разность отсчетов соответствует 0.0162 мг, а величинами этого порядка при точных взвешиваниях пренебрегать нельзя, так как отсчеты и расчеты равновесия представляют погрешность гораздо меньшую при работе на весах, подобных тем, какие употребляются для точных взвешиваний в Главной палате.

Деля соответственные части друг на друга и принимая во внимание приведенное предположение, получаем с полною точностью:

$$\frac{A}{B+a} = \frac{B}{A} \text{ или } A = \sqrt{B^2 + Ba}.$$

При сколько-либо точных весах a очень мало сравнительно с B, например $a = 0.001$ г, а $B = 400$ г. Поэтому, разлагая в строку

$$A = B + {}^1/_2 a - {}^1/_4 \frac{a^2}{B} + \cdots,$$

следует ограничиться только первыми двумя членами, так как третий, при $a = 0.001$ г и $B = 400$ г, равен 0.00000000062 г. Второй же член, ${}^1/_2 a$, выраженный в показаниях шкалы, равен $\pm {}^1/_2 n (L_{AB} - L_{BA})$, причем знак + (плюс) надо брать в том случае, когда счет делений шкалы (от нуля в одну сторону) идет слева направо, а знак — (минус) при обратном направлении счета делений на шкале весов.

По указанной причине в системе взвешиваний нельзя ограничиваться двумя взвешиваниями: *AB* и *BA*, не считая тех, которые необходимы для определения значения 1 div. Сколько же взвешиваний при перекладывании должно делать? Как их расположить, чтобы по возможности уловить влияние времени? И какой применить тогда способ расчета? Вот те ближайшие вопросы, к решению которых мы теперь приступим.

Если бы устройство современных весов, приспособленных для перекладывания нагрузок (по способу Гаусса), позволяло неопределенно большое число раз, так сказать безнаказанно, производить перемену грузов *AB* и *BA*, то, повидимому, наибольшую точность дало бы среднее из ряда

AB, BA, AB, BA, AB, BA и т. д.,

сличая среднее *AB* со средним *BA*, потому что все виды изменений (в длине ли плеч коромысла или в действии арретира) почти одинаково отразились бы как на *AB*, так и на *BA*, и средние результаты относились бы к среднему времени, с поправками на случайность (от малых сотрясений устоев, от погрешностей отсчета и проч.), но опыт показывает, что при большом числе перемещений грузов *A* и *B* с одной чашки на другую начальная центрировка грузов нарушается, а при этом, как известно, показания отсчетов немного, но явно изменяются, и система нарушается. Один или два, много что три или четыре раза произведенная перемена места грузов, однако, никакого видимого результата на центрировку не производит, а потому более, чем четыре перехода от *AB* к *BA* или обратно производить ныне не следует[1] — пока при устройстве весов не будет

[1] В моей статье «О приемах точных взвешиваний» (Временник, ч. 3, 1896, стр. 1*, когда я уже убедился в необходимости принимать во внимание «влияние времени», я предложил систему из 14 взвешиваний:

$$AB,\ BA,\ AB,\ BA,\ (B+r)A,\ BA,\ AB,\ BA,\ AB,\ A(B+r_1),\ AB,\ BA,\ AB,\ BA.$$

В ней 9 перекладываний, а потому при испытании система эта и не дала лучших результатов, чем система из 6 взвешиваний:

$$AB,\ BA,\ AB,\ BA,\ B(A+r),\ BA,$$

где перекладка производится только 3 раза (так как в Главной палате положение добавочного малого груза *r* производится даже без арретирования чашек). По этой причине ныне я не считаю надобным даже упоминать о моем прежнем предположении. Но когда при устройстве весов будет принято во внимание полное сохранение точного центрирования грузов — при их перекладке, — тогда вполне симметричная система из 14 взвешиваний может доставить наиболее надежные результаты.

* См. стр. 215. [*Прим. ред.*].

устранена возможность потери начальной центрировки — при перемене положения грузов, не считая тех взвешиваний, которые назначаются для определения чувствительности весов (значения 1 div.); вообще число взвешиваний (и перекладок груза), образующих систему, должно по возможности [быть небольшим] не только ради сокращения труда, но и прямо ради того, что в короткое время при установившихся окружающих условиях — можно ждать менее, чем при более долгом времени, перемен всякого рода, могущих влиять на равновесия.

Если бы изменения, происходящие в равновесии (при данной нагрузке), можно было выразить прямою линией по отношению ко времени[1], то три взвешивания с двумя перекладываниями (т. е. система *AB*, *BA*, *AB*) дали бы истинный вес, при сравнении среднего из двух крайних с промежуточным показанием.[2] Но изменения, замечаемые в равновесиях, очень часто явно не пропорциональны времени, — например, сперва прибывают, а затем убывают, как видно из многих данных (l. c.) 1-й главы этой части. Поэтому, приближаясь к действительности, можно допустить, что изменение равновесия L_t при данной нагрузке выражается некоторою параболою 2-го порядка от времени:

$$L_t = L_0 + at + bt^2.$$

Идти далее (т. е. принимать параболу высшего порядка) нельзя или не следует по той причине, что тогда для нахождения постоянных L_0, a и b пришлось бы производить много взвешиваний, а выше показано, что такой прием не только продолжителен, но и не может дать хороших результатов вследствие нарушения центрирования при повторении перекладываний.

Поэтому изменение равновесия — при данной нагрузке — принимается далее выражающимся *параболою 2-го порядка* — по отношению к времени, и задача сводится в сущности к тому, чтобы найти равновесие L_{AB} и L_{BA} для одного и того же момента времени, или среднее для одной и той же продолжительности времени.

---

[1] Т. е. если бы L_t (при данном грузе) можно было принять $= L_0 + kt$, где t есть время, а k некоторый коэффициент.

[2] Если при *AB* равновесие L_1, при *BA* равновесие L_2 и при третьем взвешивании *AB* получилось равновесие L_3, то для *AB* должно принять равновесие $\frac{L_1 + L_3}{2}$, его вычитать из L_2, и половина этой разности покажет разность веса *A* и *B* — в делениях шкалы.

Простейшее решение этой задачи достигается, [если] принять во внимание одну теорему, относящуюся к параболе

$$y = A + Bx + Cx^2,$$

данную мною в 1895 г. во «Временнике Главной палаты мер и весов» (1895, ч. 3, стр. 71*) и в «Comptes rendus (1895, стр. 1467). Известно, что выше написанное выражение параболы ($y = A + Bx + Cx^2$) относится к тому положению (преобразованию) координат, когда ось y-ов параллельна оси параболы,[1] а ось x-ов ей перпендикулярна. Пусть (черт. 32) дана часть такой параболы $\alpha\beta$ от a до[2] b и требуется найти площадь $abcd$, ограниченную указанною частью параболы, ординатами (по условию — параллельными с осью параболы) ad и bc, отвечающими крайним точкам взятой части параболы, и, наконец, частью оси X-ов, а именно dc, лежащею между перпендикулярами, опущенными на ось X-ов из конечных точек взятой части параболы ab.[3]

Эта площадь $abcd$, по теореме, равна площади трапеции $afcd$, ограниченной прямою af, проходящею чрез одну из начальных точек взятой части параболы a и чрез точку h той же параболы, отстоящую от a на $^2/_3$ расстояния, считая по оси X-ов (т. е. по направлению, перпендикулярному к оси параболы), от другой конечной точки b взятой части параболы ab.[4] Приведу некоторые следствия этой теоремы.

Площади agh и hbf, [ограниченные] параболическими отрезками и лежащие по обе стороны прямой af, равны между собою, если fb параллельна оси параболы и если проекции bh и ha на перпендикуляр к оси параболы (т. е. на ось X-ов) относятся как 1 к 2.

Все возможные параболы, проходящие чрез две названных точки a и h, отрезают одинаковые площади $abcd$, если проекции ah и hb удовлетворяют указанному условию и если у всех парабол, проходящих чрез a и h, оси параллельны[5].

---

[1] Для оси параболы $x = -\frac{B}{2C}$.

[2] Для простоты рассуждений представим, что вся часть параболы ab имеет положительные отсчеты x и y-ов, что всегда легко достигнуть при образовании координат.

[3] Очевидно, что длина cd равна разности абсцисс x_0 и x_3, отвечающих конечным точкам a и b части параболы.

[4] Доказательство этой теоремы очень просто и помещено в указанных выше источниках. Теорема эта дает, таким образом, квадратуру параболы.

[5] Для нашей цели, т. е. для приложения к положению системы взвешиваний, это следствие (или эта формулировка теоремы) — наиболее важно.

* См. стр. 307. [*Прим. ред.*].

Если из точки b (другой конец взятой части параболы ab) провести прямую, секущую bm [c] таким же условием, с которым проведена секущая ah, то обе прямые пересекутся на середине и прямые fb и am будут равны между собою.

Стрелка gn (равная с hq) равна $^1/_3$ am и, если проекция $dc=3$, то длина стрелки gn равна C в выражении параболы $y=A+Bx+Cx^2$.

Если проекции (разности абсцисс) di, ik и kc равны между собою, $x=q$, и, если даны две ординаты параболы y_0 (или ad) и y_2 (или hk), имеющей ось, параллельную ординатам, то площадь $abcd=\frac{3q}{4}(y_0+3y_2)$.[1]

Указанные свойства параболы могут найти приложение во многих случаях при опытных исследованиях[2] и, между прочим, при организации системы взвешиваний и их расчете.

Пусть дана система взвешиваний

$$AB,\ BA,\ AB,\ BA,$$

и равновесия, отвечающие каждому из них, суть

$$L_0,,\ L_1,\ L_2,\ L_3.$$

Если просто взять среднее из отсчетов AB и из отсчетов BA, то искомая разность равновесий в делениях шкалы выразится чрез

---

[1] Указанного условия (т. е. двух точек параболы) совершенно достаточно для точного определения площади $abcd$. Но в опытах y_0 и y_2 определяются с погрешностью, и умножение y-ов (чрез равные промежутки q) полезно для сглаживания погрешностей наблюдений. Если даны 4 ординаты (чрез промежуток q) y_0, y_1, y_2, y_3, то вероятная величина площади $abcd=\frac{3q}{8}(y_0+3y_1+3y_2+y_3)$, что напоминает правило Симпсона и ему подобные (Понселе и др.).

[2] Обращу внимание на одно из наведений, вытекающих из рассмотрения указанной теоремы. В отношении интегрирования или определения площадей, указанная теорема заменила кривую $y=A+Bx+Cx^2$ прямою $y=A^1+B^1x$, т. е. понизила порядок, и вместо трех точек, определяющих кривую, стало возможным довольствоваться двумя точками, лежащими на заранее определенных местах кривой, определяющими прямую линию. Поэтому уже видно, что в отношении к площадям порядок кривых параболического вида:

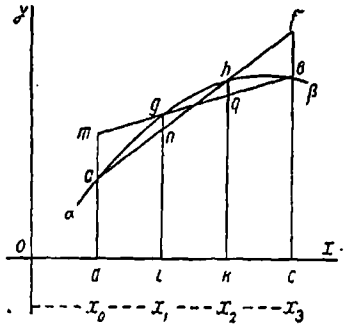
$$y=A+Bx+Cx^2+Dx^3+\ldots,$$

можно понижать, избирая на них определенные точки точным способом а это может иметь множество приложений и приводит к нахождению площадей по наблюдению определенного числа ординат.

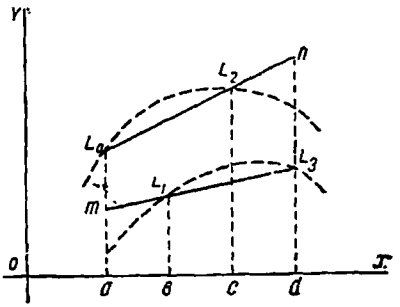
$$L_{AB} - L_{BA} = \frac{L_0 + L_2}{2} - \frac{L_1 + L_3}{2} = \frac{1}{2}(L_0 - L_1 + L_2 - L_3)$$

и затем $$A - B = \pm \frac{1}{4}(L_0 - L_1 + L_2 - L_3)\cdot \qquad (I)$$

Но такие (и ему подобные) выражения, по своему существу, предполагают равновесия AB и BA неизменными во времени и все различие L_0 от L_2 зависящим исключительно от погрешностей (отсчета, арретира и расчета), а мы выше видели, что



Черт. 32.



Черт. 33.

равновесие изменяется, и изменяется совершенно правильно, помимо неточностей отсчета, арретировки и расчета равновесий.

Поэтому указанный способ расчета отсчетов нельзя считать исчерпывающим истину до последней возможной меры, достигаемой при определении влияния времени, в котором по сделанному выше предположению равновесия изменяются — при небольшом числе перекладываний — по параболе. За единицу времени должно принять в обычном случае время, необходимое для отдельного взвешивания AB или BA (и для перекладки гирь с одной чашки на другую). В весах Рупрехта эта единица времени длится около [15—18] минут. Поэтому в системе AB, BA, AB, BA равновесия L_0, L_1, L_2, L_3 разделены равными промежутками и, следовательно, удовлетворяют условию, вышеуказанному для упрощения расчета площадей параболы: это ясно видно на прилагаемом чертеже (черт. 33), где точки L_0 и L_2 отвечают равновесию во взвешивании AB, L_1 и L_3 — равновесию при нагрузке BA, а их расстояния — по оси времени (X), т. е. ab, bc и cd равны между собою. Не задаваясь усложняющей гипотезой о соответствии в изменениях равновесия при

нагрузках AB и BA, представим только, что в том и другом случае изменение по времени — совершается по какой-либо параболической кривой (с вертикальною осью, т. е. осью параллельной Y, или отсчету равновесий), означенной на чертеже пунктиром. Тогда задача решима — на основании выше данной теоремы, потому что она дает возможность узнать средние равновесия L_{AB} и L_{BA} во все течение времени от a до d или в продолжение трех условных единиц времени, потому что площадь трапеции $L_0 L_2 da$, равная — по теореме — $^3/_4\ (L_0 + 3L_2)$,[1] покажет при делении на 3 (или $3q$, где $q=1$, что показывает всю величину основания трапеции) среднюю величину L_{AB} во все время от a до d, а площадь трапеции $m\ L_1 L_3 da$, деленная на 3, — среднее значение L_{BA} за тот же самый период времени. А так как разность веса A и B, выраженная в делениях шкалы, равна (стр. 713) полуразности отсчетов равновесия, то

$$A - B = \pm\,{}^1/_2 (L_{AB} - L_{BA}) = \pm\,{}^1/_2 \frac{{}^3/_4 (L_0 + 3L_2)}{3} - \frac{{}^3/_4 (L_3 + 3L_1)}{3} =$$

$$= \pm\,{}^1/_8 (L_0 - 3L_1 + 3L_2 - L_3). \qquad \text{(II)}^2$$

Этот способ расчета взвешиваний, применяемый в Главной палате с 1895 г., может быть найден и не прибегая к этой гипотезе о параболическом изменении равновесий по времени, исходя из следующих соображений. Если равновесие AB наблюдено во время $t=0$ и равно L_0, а затем во время $t=2$ равно L_2, то среднее из них $^1/_2 (L_0 + L_2)$ отвечает среднему времени $t=1$, а при нем BA дано L_1, следовательно первая разность равновесия $= {}^1/_2 (L_0 + L_2) - L_1$. Точно так же среднее из $L_1 + L_3$ для BA соответствует времени $t=2$, когда наблюдено для AB равновесие L_2,

---

[1] Значение q (стр. 719) здесь $=1$, а потому q и не вошло в выражение площади.

[2] Знак $\pm$ перед разностью, как сказано выше, определяется направлением, в котором ведется счет делений по шкале. В Главной палате счет делений по шкале всех весов сделан так, что при прибавке груза на правую чашку стрелка указывает большее число. При этом должно брать — (минус), т. е. $A - B = -\,{}^1/_8 (L_0 - 3L_1 + 3L_2 - L_3)$, или как пишется в наших записях:

$$A = B - {}^1/_8 (L_0 - 3L_1 + 3L_2 - L_3).$$

При этом L_0 (первое взвешивание) всегда отвечает нагрузке AB (см. таблицы в части IV).

а потому вторая разность равновесий $= L_2 - {}^1/_2(L_1 + L_3)$. Среднее из первой и второй разностей будет:

$$L_{AB} - L_{BA} = {}^1/_4(L_0 - 3L_1 + 3L_2 - L_3),$$

что выведено выше.

Чтобы показать значение применяемого способа расчета, возьму пример из данных, помещенных на стр. 667 n° n° 1218 и 1220, так как здесь взвешивания AB произведены ранее, чем BA, как в предшествующем рассмотрении: n° 1218 дал $L_0 = 140.900$, $L_1 = 173.131$, $L_2 = 140.375$ и $L_3 = 173.113$ div.

Если бы мы брали простую арифметическую разность отсчетов (как I), то получили бы[1]

$$(A - B)_1 = +16.2422 \text{ div.}$$

Руководясь же нашим приемом (II), получаем

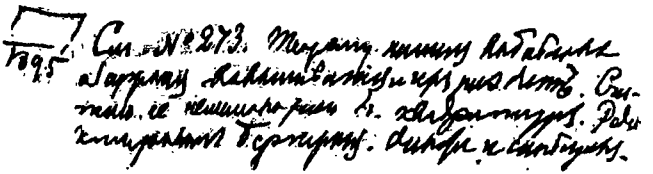
$$(A - B)_2 = +16.3101 \text{ div.}$$

Разность обоих расчетов $= -0.0679$ div., а так как 1 div. $= 0.031226$ мг, то эта разность отвечает -0.0021 мг. Подобные малые различия в весе, конечно, имеют значение только в таких метрологических определениях, которые стремятся достичь пределов всей возможной точности, и разности, зависящие от других поводов к неточности (особенно же от арретировки), обыкновенно превосходят подобные разности способов расчета; тем не менее, судя по сделанным пробам, более правильный расчет дает в общем среднем наилучшее согласие результатов, не представляя никаких особых трудностей при своем применении.[2] Во взвешивании n° 1220 (стр. 667) по способу арифметических средних получается $(A - B)_1 = 16.1875$ div., а по параболическому приему $(A - B)_2 = 16.1470$ div.; разность $+0.0404$ div., или $+0.0013$ мг, т. е. разность обоих способов расчета еще меньше, чем в n° 1218. Но бывают случаи, когда разность эта достигает сотой доли миллиграмма.

---

[1] Беря везде из ± знак — (минус), как следует по расположению счета шкал в Главной палате.

[2] Лучше (ради ускорения и ради того, чтобы избежать умножения больших чисел на 3 и деления на 8, что дает поводы к ошибкам счета) прямо брать последовательные разности, например $L_0 - L_1$, $L_2 - L_1$ и $L_2 - L_3$, из них получить 2 средние (из первой и второй разности и из второй и третьей) и из них среднее, которое делить пополам, что и дает $A - B$ по (II). О знаке же + или — (минус) лучше судить особо, не упуская из внимания правила, указанные выше в этом отношении. Все наблюдения в Главной палате независимо рассчитываются двумя наблюдателями, чтобы устранить случайные ошибки счета.



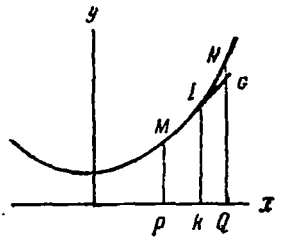
1895 См. № 273. Теорему нашел в Боблове, обсуждая взвешивания и их расчет. Считаю ее немаловажною для квадратур. Редактировал Бертран. Он же и сообщил.

298 Sur un théorème de géométrie. Comptes rendus 1895 (9 Sept[embre]) p. 421. 1037 3

Comptes Rendus de Séances de l'Academie des Sciences. Séance du lundi 9 Septembre, 1895, стр. 421.

ОБ ОДНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТЕОРЕМЕ

Заметка Д. Менделеева



Площадь *MNPQ*, заключенная между параболой 2-й степени *MN* и двумя ординатами, параллельными ее оси, равна таковой трапеции *PMIGQ*, ограниченной прямой *MIG*, которая, начинаясь у одного из концов дуги *MN*, встречает эту дугу в точке *I*, проекция которой *K* на оси *x-ов* находится на одной [трети расстояния] *PQ*.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ДОКЛАДНЫЕ ЗАПИСКИ ПО ПОВЕРОЧНОМУ ДЕЛУ И НЕКОТОРЫЕ СЛУЖЕБНЫЕ ПИСЬМА ПО МЕТРОЛОГИЧЕСКОМУ И ПОВЕРОЧНОМУ ДЕЛАМ

М. Ф.
ГЛАВНАЯ ПАЛАТА
МЕР И ВЕСОВ
30 октября 1893 г.
№ 53

Главная палата мер и весов. Дело № 14 «О необходимости возобновления образцовых единиц веса в России» (21 XII 1892—12 XI 1899), л. л. 258—262.

*Его превосходительству В. И. Ковалевскому**

Милостивый государь,

Владимир Иванович!

Приступая к осуществлению возобновления прототипов мер и весов и вступив для сего в сношения с производителями чистой платины и с фирмами, занимающимися изготовлением платиновых мер длины и веса, я узнал, что, немного изменяя предположения, изложенные в моем письме от 21 декабря 1892 г. к вашему превосходительству, можно, не нарушая общей стоимости прототипов, не только достигнуть улучшения в их качестве, но и увеличить их число, чему особенно помогли сношения с Лондонскою фирмою «Джонсон — Маттей» (Johnson, Matthey and C°), известной производством своих платиновых изделий и тем, что она поставила платино-иридиевые метры и килограммы в Международную Парижскую комиссию. Эта фирма берется изготовить из иридистой платины (с 10% иридия), служившей для международных прототипов метра и килограмма, прототипы аршина и фунта, — однако без нанесения делений и без пригонки гирь к нормальному весу, — за цену меньшую, чем для чистой платины, чему причиной служат два обстоятельства: во-первых, то, что у этой фирмы имеется в готовности надлежащий сплав платины с иридием, а во-вторых, то, что для превращения чистой платины в аршин фирме пришлось бы устраивать некоторые новые приборы, ценою (судя по письму от 4 ноября [н. ст.] 1893 г.) в 7000 франков, которые фирма считает необходимым поставить на счет нашего заказа, тогда как для платино-иридиевого сплава у фирмы имеются все приспособления в готовности.

* Директор Департамента торговли и мануфактур Министерства финансов. [*Прим. ред.*].

В моем письме к вашему превосходительству (от 21 декабря 1892 г.) я предлагал построить возобновляемые прототипы из чистой платины преимущественно на основании двух соображений: 1) прежние или ныне существующие русские прототипы (сажени и фунта) изготовлены из чистой платины и 2) можно было полагать, что платино-иридиевые прототипы обойдутся дороже, чем чисто платиновые. Ныне, когда последнее обстоятельство, вследствие упомянутых причин, изменяется и платино-иридиевые прототипы оказываются могущими стоить дешевле чисто платиновых,[1] необходимо принять во внимание следующие существенные обстоятельства, говорящие в пользу заготовки возобновленных русских прототипов именно не из чистой платины, а из 10-процентного сплава ее с иридием:

1) сплав этот, как несомненно по опыту Международной метрической комиссии, тверже, жестче и вообще прочнее, чем чистая платина, что имеет значение не только для прототипа длины, ради избежания гибкости, но и особенно для прототипов веса, так как гири из твердейшего материала менее изменчивы, чем гири из более мягкого материала, какова чистая платина, а потому вероятность прочной сохраняемости прототипов из иридистой платины больше, чем из чистой платины;

2) сплав 90 частей платины с 10 частями иридия принят для международных килограммов и метров, а при возобновлении русских прототипов их твердое установление неизбежно должно состоять, между прочим, в сличении наших мер с международными, сличение же это может быть наиболее точным при условии тождества материала;

3) все свойства упомянутого сплава в подробности и со всею возможною точностью изучены Международною метрическою комиссиею, тогда как свойства чистой платины, в том виде, в каком она поступит на русские прототипы, пришлось бы вновь изучать на наших образцах, а для сего потребова-

[1] А именно Джонсон — Маттей назначает за килограмм веса платино-иридиевого аршина по 2200 франков, а чисто платинового — 2100 франков, но в последнем случае ставится на счет русских прототипов 7000 франков; так как всего металла пойдет около 13 кг, то последняя прибавка увеличит цену каждого килограмма почти на 400 франков, а именно чисто платиновые прототипы обойдутся дороже платино-иридиевых примерно на 5700 франков (около $2^1/_4$ тыс. руб.). Сама по себе эта разность цены не могла бы иметь существенного значения, если бы сплав платины с иридием не был бы предпочтительнее платины своею твердостью и если бы срок изготовления для сплава не был бы скорее, чем для чистой платины.

лось бы не только много новых усилий и времени, но и новые расходы, потому что только после изучения свойств материала можно было бы приступить к окончательной выверке прототипов,

и 4) время изготовления прототипов из иридистой платины, судя по изложенному, будет менее продолжительно, сравнительно с временем окончательного изготовления прототипов из чистой платины. Фирма Джонсон — Маттей берется закончить (не нанося делений и не доводя до истинного веса) прототипы из иридистой платины в срок, по крайней мере (судя по письму), на 4—6 месяцев более короткий, чем для прототипов из чистой платины.

Принимая во внимание указанные обстоятельства, имею честь ходатайствовать о дозволении исполнить возобновляемые русские прототипы из принятого Международною комиссиею сплава иридия с платиною.

Вместе с сим прошу разрешить мне произвести запас одного или двух (буде окажутся достаточные для сего средства из суммы, ассигнованной на возобновление прототипов) золотых фунтов, так как ныне ценность золота и платины в изделиях почти сравнялась и фунт 90-процентного золота обойдется, вероятно, около 500 руб. кред.; следовательно, два фунтовых прототипа — около 1000 руб., т. е. на сумму меньшую, чем разность заказа прототипов из платино-иридия и чистой платины. Устройство же подобного прототипа из монетного золота может иметь большое значение не только вследствие общеизвестных достоинств монетного золотого сплава, но и потому, что одно из существеннейших применений точных прототипов веса состоит в твердейшей установке веса золотых монет, имеющих международное обращение.

Сверх сего считаю ныне же необходимым довести до сведения вашего превосходительства, что скорое и возможно точное выполнение возобновляемых прототипов требует:

1) чтобы после письменного соглашения с соответственными фирмами было разрешено командировать для присмотра за исполнением заказа механика Главной палаты мер и весов кандидата Университета г-на Блумбаха за границу сроком от 2 до 6 месяцев, с выдачею ему, сверх жалованья, получаемого им из Палаты (по 100 руб. в месяц), 250 руб. кред. прогонов и подъемных и по 150 руб. в месяц суточных из суммы в 5000 руб., ассигнованной на командировки по возобновлению мер (при общей сумме 35 тыс. руб);

2) чтобы после получения извещения о выполнении заказа прототипов вчерне была выдана мне заграничная команди-

ровка на 3 месяца, в которые я надеюсь, во-первых, принять заготовленные прототипы, во-вторых, передать их в соответственные мастерские для нанесения делений и выверки веса, в-третьих, озаботиться о предварительном сличении их с международными прототипами и о перевозке в Россию для окончательной выверки. Эти части дела столь важны, что я считаю необходимым выполнить их лично вместе с механиком Палаты г-ном Блумбахом;

3) чтобы из суммы в 35 тыс. руб., отпущенной на возобновление прототипов и приобретение приборов, для того необходимых, была переведена в русское посольство в Париже сумма в 3000 руб., назначенная по смете на окончательную выверку гирь, нанесение делений на аршинах и доставку, ибо уплаты по указанным предметам должны состоять из мелочных выдач отдельным мастерам и не могут быть совершаемы в кредит; переписка же по каждому отдельному расходу отняла бы много времени;

4) чтобы разрешено было мне, если на то окажется возможность, не выходя из размера отпущенного кредита, заказать, вместо одного из четырех прототипных аршина, прототипную меру с нанесением на ней трех единиц длины единовременно: а) аршина, б) метра и в) ярда и их подразделений: вершка, дециметра, сантиметра, миллиметра, фута, дюйма и линии. Такая мера длины была бы весьма важна для надобностей Главной палаты, и я надеюсь, что из средств, отпущенных на возобновление прототипов и на соответствующие инструменты, можно будет найти сумму, достаточную не только для изготовления двух золотых прототипов фунта, но и вышеупомянутой платино-иридиевой меры длины (стоимость таковой меры будет более, чем прочих прототипов аршина).

Исходатайствуя у его высокопревосходительства г-на министра финансов о разрешении вышеизложенного, Вы, ваше превосходительство, много посодействуете успешности и достоинству выполнения предпринятого возобновления прототипов мер и весов в России, долженствующих лечь в основу объединения мероприятий, касающихся мер и веса в империи.

Примите, ваше превосходительство, уверение в совершенном почтении и готовности к услугам

Д. Менделеев.

М. Ф.
ГЛАВНАЯ ПАЛАТА
МЕР И ВЕСОВ
5 января 1894 г.
№ 1

Главная палата мер и весов. Дело № 14 «О необходимости возобновления образцовых единиц веса в России» (21 XII 1892—12 XI 1899), л. л. 249—252.

Его превосходительству В. И. Ковалевскому

Милостивый государь,

Владимир Иванович!

Приступив в Главной палате мер и весов к осуществлению предначертанного возобновления русских прототипов, приходится окончательно выяснить назревший вопрос об отношении между английским ярдом и международным метром, потому что система русских мер точно связана с английскою (1 сажень = 3 аршинам = 7 футам, а 1 русск. фут = 1 англ. футу), и в то же время ее должно точно связать с метрическою системою, не только по причине широкого распространения сей последней, но и вследствие того, что Россия приняла участие в международном соглашении, относящемся к распространению прототипов метрической системы, что дает уже указание на применение этой системы в России, хотя бы, вначале, факультативно. Подобное, факультативное, признание пользы метрической системы совершилось уже лет 16 сему назад в Великобритании и законом (Weights and Measures Act, 1878) принято, что 1 метр = 39.37079 дюйма (русским или английским). Однако все позднейшие сличения показывают, что действительное отношение прототипов метра и ярда (ярд = 36 дюймам) отличается от вышеуказанного на величину, легко определяемую при сколько-либо точных сличениях. Так, Clarke определил это отношение = 39.36994, а Tittmann — 39.36980 дюйма. Разность этого последнего числа от узаконенного для Англии = 0.00099 дюйма, или около 25 тысячных миллиметра (или 25 микрон), а 10 таких долей определяются даже непосредственным сличением наглаз, при микроскопических же сличениях определяются даже десятые доли микрона, а уверенность в целых микронах свойственна всем новейшим точным

сличениям мер длины. Причину столь неуверенного отношения между метром и ярдом должно искать, во-первых, в том, что материалы прототипов метра (платина и иридистая платина) и ярда (бронза) различны, а истинная длина метра отвечает 0° Ц, тогда как истинная длина ярда (Imperial Standard yard) узаконена (1855) при 62°Ф (= 16.667° Ц = 13.333° Р), и, во-вторых, в том, что прямых сличений прототипов метра и ярда доныне не произведено, компарирование производилось чрез посредство или копий, или туазов в условиях, допускающих накопление погрешностей.

Международное бюро (в Париже) мер и весов, судя по последним сведениям, ныне занимается вышеуказанным вопросом, точное решение которого неизбежно при изготовлении русских прототипов. Чтобы, с своей стороны, содействовать возможно точному решению вышеуказанного вопроса, при заказе русских прототипов из иридистой платины, я предположил на одном из вспомогательных прототипов нанести не только мелкие подразделения аршина, метра и фута, необходимые для работ Палаты, но и прямо означить полсажени, аршин, метр и ярд, дабы можно было произвести все необходимые работы с единичным вспомогательным прототипом, причем предполагаю сделать прямые сличения как с метром, так и с ярдом в соответственных учреждениях Франции и Англии.

Большая работа, предстоящая при выполнении такого предположения, могла бы значительно облегчиться, если бы вашему превосходительству угодно было представить на усмотрение его высокопревосходительства г-на министра финансов о назначении меня вторым (ныне академик Вильд состоит уже русским делегатом в Международном бюро * мер и весов) представителем России в Международном бюро мер и весов. Учреждение это, содержимое на совокупные средства многих стран, в том числе и России, обладает всею совокупностью приборов и приспособлений для точного сличения мер и весов, и в качестве члена указанного Бюро я бы получил более возможностей выполнить все необходимые сличения, чем тогда, когда должен буду искать случаев и возможностей лично участвовать в производстве сличений в качестве лица, коему поручено возобновление русских прототипов. При этом я имел бы много случаев не только улучшить установку точных соотношений между новыми русскими прототипами и метрическими, но и содействовать,

* Следует понимать — в Международном комитете. [*Прим. ред.*].

с своей стороны, если то потребуется, нахождению как истинного отношения между метром и ярдом, так и разрешению другого настоятельного метрологического вопроса, состоящего в том, что все новейшие определения указывают на неполное соответствие между весом килограмма и кубического дециметра воды при 4° Ц. Это последнее отношение, т. е. отношение между весами (массами) прототипов гирь и весами (массами) определенной кубической меры воды, прямо входит как одно из ныне существующих в законе определений русских прототипов, а потому подлежит прямому выполнению в Главной палате мер и весов, но средства Парижского Международного бюро позволяют наиболее возможностей для точнейшего решения задачи, а потому, если окажется возможным, я, в качестве члена Международного бюро, считал бы полезным придать работе этого рода общий международный метрологический характер.

Так как заказ возобновляемых из иридистой платины русских прототипов фирма Джонсон — Маттей в Лондоне обещает выполнить к марту 1894 г., то для приемки их мне необходимо будет к этому времени отправиться в Лондон. Затем, вместе с механиком Палаты г-ном Блумбахом, мы перевезем наши прототипы в Париж для окончательной выверки и для нанесения делений, что, вероятно, исполнится под нашим надзором в марте и апреле, а тогда для предстоящих работ сличения я считаю необходимым призвать в Париж еще одного помощника, а именно лаборанта Палаты г-на Кистяковского, чтобы можно было произвести все сличения в Париже и Лондоне.

Доводя до сведения вашего превосходительства о всех вышеозначенных предположениях, смею надеяться, что Вы окажете надлежащее содействие к их осуществлению.

Прошу ваше превосходительство принять уверение в совершенном почтении и готовности к услугам

Д. Менделеев.

М. Ф.
ГЛАВНАЯ ПАЛАТА
МЕР И ВЕСОВ
14 января 1894 г.
№ 11

Главная палата мер и весов. Дело № 14 «О необходимости возобновления образцовых единиц веса в России» (21 XII 1892 — 12 XI 1899), л. л. 121—123.

Его превосходительству Н. П. Фоллендорфу *

Милостивый государь,

Николай Павлович!

Получив разрешение заказать для Главной палаты мер и весов, в числе других прототипов, золотой разновес фунта и его подразделений, имею честь покорнейше просить ваше превосходительство, в дополнение к письму от 6 ноября минувшего года за № 56, сделать распоряжение об изготовлении для Главной палаты фунтового разновеса из монетного золотого сплава следующим образом.

Все, более значительные по весу, гири должны иметь простейшую (без особого приспособления для захвата) цилиндрическую форму, без острых ребер у конечных плоскостей. Для гирь в 1 фунт диаметр и высота получатся около 30.4 мм; у остальных гирь, представляющих подразделения фунта, диаметр и высоту желательно получить близкими к следующим размерам:

	Диаметр в миллиметрах	Высота
У гири в 48 золотн.	19	38
» » » 24 »	19	19
» » » 12 »	19	9.5
» » » 6 »	9.4	18.8
» » » 3 »	9.4	9.4
» » » 2 »	5.5	18
» » » 1 »	5.5	9
» » » 96 долей	2.3	50
» » » 48 »	2.3	25
» » » 24 доли	1.2	50
» » » 12 долей	1.2	25

* Начальник С.-Петербургского монетного двора. [*Прим. ред.*].

Гири же в 6, 3, 2 и 1 долю должны быть сделаны в виде пластинок с одним загнутым углом.

Все гири должны с внешней своей поверхности представлять возможно совершенную полировку и быть изготовленными из одного и того же сплава, состав коего ваше превосходительство, вероятно, не откажетесь сообщить при доставлении гирь, для коих затем будут определены в Палате удельные веса и коэффициенты расширения.

Золотые гири, исполненные таким образом, предназначаются для сохранения в Главной палате мер и весов в виде одних из побочных прототипов, а потому будут окончательно выверены самою Палатою по вновь заказываемым прототипам фунта и его подразделений из иридистой платины. По сей причине при изготовлении золотых гирь необходимо, чтобы веса их немного превосходили их нормальный вес.

Указанное обстоятельство имеет тем большее значение, что истинный вес прототипов определяется для безвоздушного пространства, а при выверке на Монетном дворе придется пользоваться, вероятно, бронзовым разновесом, что повлечет за собою поправки, имеющие существенное значение. Поэтому ваше превосходительство, быть может, не откажетесь после изготовления золотых гирь известить о сем Палату или выслать ей изготовленные гири, чтобы в предварительной выверке золотых гирь не произошло какой-либо погрешности и Палата могла бы сообщить, какому уменьшению веса подлежит каждая из заготовленных гирь для предварительной выверки.

При сем случае Палата считает не излишним обратить внимание на то, что истинный вес золотых монет при прямом их взвешивании в воздухе может быть наилегче определяем с помощью гирь из того же золотого сплава, какой применяется для монеты, а потому за нормальный разновес для Монетного двора желательно было бы принять золотой разновес. Если Монетный двор признает справедливыми таковые соображения, то, быть может, пожелает, одновременно с изготовлением золотых гирь для Главной палаты, изготовить и для себя такие же гири. Тогда Главная палата, при возобновлении прототипов веса, единовременно выверила бы, со всею возможною точностью, как свой золотой разновес, так и образцовые золотые гири для Монетного двора.

Так как платино-иридиевые прототипы гирь уже заказаны и имеют быть изготовлены в месячный срок, то желательно

было бы знать, к какому времени Палата может получить заказываемый ею золотой разновес. Ваше превосходительство, быть может, не откажете также извещением о приблизительной ценности указанного заказа, что мне необходимо знать при распределении суммы, отпущенной на возобновление прототипов.

Прошу ваше превосходительство принять уверение в совершенном моем почтении и готовности к услугам. Преданный Вам

Д. Менделеев.

Главная Палата мер и весов. Дело № 14 «О необходимости возобновления образцовых единиц веса в России» (21 XII 1892—12 XI 1899), л. л. 242—245.

16 февраля 1894 г.
№ 25

Его превосходительству В. И. Ковалевскому

Милостивый государь,

Владимир Иванович!

Для осуществления предначертанного возобновления прототипов мер и весов, как известно вашему превосходительству, заказано фирме «Джонсон, Маттей и К°» выполнение отливки и первой обработки платино-иридиевых мер длины и гирь. Механик Главной палаты, коллежский асессор Блумбах, отправившийся для того, чтобы следить за исполнением этого заказа, в Лондон, от 5/17 февраля извещает, что отливка стержней уже произведена и что заказ может быть готов чрез 3 недели, т. е. к концу текущего месяца. Весьма ответственную часть всего дела — возобновления прототипов— составляет приемка их в первоначальной обработке, потому что для сохранности прототипов и для возможности их должного сравнения качество (состав и свойство) материала и его однородность имеют первостепенное значение. Поэтому я считаю необходимым лично отправиться для этой приемки в Лондон. Но такая приемка, вместе с соответственными ей исследованиями, должна занять не более месячного срока, работы же, которые следует затем выполнить за границею, где имеются соответственные мастера и учреждения, гораздо сложнее и продолжительнее. А именно: получив прототипы в их первичной форме, следует с ними за границею же выполнить: 1) полировку поверхности гирь; 2) определение их удельного веса; 3) доведение их до надлежащего веса; 4) нанесение длины аршина, на трех основных прототипах; 5) нанесение полусажени, аршина, вершков, футов, дюймов, линий, метра и миллиметров на четвертом, добавочном прототипе длины, и 6) нанесение соответственных знаков на прототипах. Каждая из этих работ, как они не кажутся просты

на первый взгляд, требует не только особых (специальных) мастеров и приспособлений, но и соответственных предварительных испытаний, чтобы в деле выполнения последующие операции не повредили окончательному результату, т. е. возможному совершенству выполнения прототипов. Поэтому эти части работы я считаю необходимым выполнить под личным наблюдением и при содействии Ф. И. Блумбаха. Для этой части работы, вследствие необходимости часть дела выполнить в Лондоне, другую в Париже, а третью, быть может, и в Женеве, неизбежно необходимо не менее 2 или $2^1/_2$ месяцев. Для этой части предстоящих по возобновлению прототипов дел, по предположению, назначено 3 тыс. руб.[1] А так как предстоящие здесь расходы придется производить мелким мастерам и фирмам, то желательно, чтобы эта сумма была мне выдана в виде перевода на Лондон, с тем, конечно, что полный отчет с расписками, где это возможно,[2] будет мною представлен по возвращении. Если расходы эти делать лишь чрез крупные фирмы, могущие ждать высылки денег по представленным счетам, то не только должно ожидать удорожания работы и промедления выполнения, но я опасаюсь и худшего выполнения, потому что большая фирма все-таки сдает часть работы на сторону, и тогда следить будет трудно за качеством исполнения.

Когда выполнится все вышеописанное, тогда необходимо или, по крайней мере, чрезвычайно желательно сличить наши новые прототипы в центральных учреждениях Парижа и Лондона с прототипами Франции и Англии. Всякие косвенные сличения, чрез новые добавочные меры, как это исполнялось доныне моими предшественниками, акад. Купфермо и проф. В. С. Глуховым, всегда будут менее надежны и сопряжены с бо́льшими погрешностями. А потому я считаю, если только окажется на сие какая-либо возможность, чрезвычайно желательным, вслед за выполнением прототипов, часть их (например, метр, аршин и полукилограмм) сличить в Международном бюро метрических мер, что около Парижа, а другую — в английском бюро Board of Trade. Если же единовременно выполнять оба эти сличения, то можно надеяться, что они выполнятся в $1^1/_2$ или 2 месяца, причем я лично могу остаться при одном из сличений, а г. Блум-

---

[1] Из 30 тыс. руб., отпущенных на возобновление.

[2] Например при перевозке — от железных дорог невозможно получить расписок, мастера же их выдадут.

бах будет присутствовать при другом. Оставить прототипы на попечение сих учреждений — нельзя, не рискуя промедлением, чему пример мы видим в том, что вот уже 2 года,[1] как образец полукилограммовой гири из горного хрусталя отправлен из России для выверки в Международное бюро, и все же выверка не произведена, и образцовая гиря не возвратилась в Главную палату.

На основании сего примера, я считаю совершенно неизбежным лично или чрез г-на Блумбаха озаботиться не только об ускорении сличения возобновляемых прототипов с иностранными, но и лично или чрез г-на Блумбаха доставить в Россию возобновляемые прототипы, не оставляя их ни под каким видом в заграничных проверочных учреждениях. Это тем необходимее, что главнейшая часть работы, необходимой при возобновлении прототипов, начнется лишь по получении их в Палате, а именно: точнейшее их сличение между собою и с прототипами, ныне существующими в России. Работа сия, особенно по отношению к единицам веса, может начаться в Главной палате только после августа 1894 г., т. е. срока, к которому Палата предполагает получить весы Рупрехта. К этому же сроку, если все пойдет как следует, могут возвратиться готовые и сличенные возобновленные прототипы в Россию.

Поэтому мне необходимо получить командировку за границу сроком, не менее, как от первых чисел марта до первых чисел августа. Из 5 месяцев этой командировки уйдет около 1 месяца на приемку прототипов, около $2^1/_2$ — на их окончательную выделку и около $1^1/_2$ месяцев — на их сличение с иностранными прототипами. Если же окажется, что последнее сличение нельзя будет выполнить в назначенный выше срок, то я, во-первых, озабочусь о получении посредствующих, вновь сличенных копий и, во-вторых, употреблю часть времени на посещение проверочных учреждений Германии, Швейцарии и Австрии, где за последние годы сделано много нового.

На основании вышеизложенного покорнейше прошу ваше превосходительство ходатайствовать у его высокопревосходительства Сергея Юльевича:

1) о командировании меня на 5 месяцев за границу (сроком по 15—25 августа) для принятия и окончательного выполнения возобновляемых прототипов, а если окажется возможным, то и для сличения их с прототипами Англии

[1] А именно с июня 1892 г.

и Франции. При сем считаю необходимым обратить внимание на то, что из 35 тыс. руб., отпущенных «на приобретение приборов для Главной палаты и на восстановление образцовых мер», — 30 тыс. руб. назначены на приборы и прототипы, а 5 тыс. руб. на командировки; из сих последних доныне назначено г-ну Блумбаху 850 руб., но ему при продлении его командирования (г. Блумбах командирован на 4 месяца) может понадобиться еще до 450 руб.; из остальных же 3700 руб., по моему мнению, полезно сохранить некоторую сумму (до 700 руб.) для непредвидимых надобностей, могущих встретиться при сложном деле возобновления прототипов;

2) о написании соответственных писем к русским послам в Лондоне и Париже, дабы они оказали официальное содействие предстоящему сличению наших возобновленных мер с английскими и французскими прототипами. Для сей же цели желательно, чтобы заранее сделаны были, если то необходимо, надлежащие дипломатические сношения;

3) о назначении из суммы в 30 тыс. руб., ассигнованной на возобновление прототипов, 3 тыс. руб. на их окончательную выделку и о переводе сей суммы в Лондон на имя мое или агента Министерства финансов.

Прошу ваше превосходительство принять уверение в совершенном почтении и готовности к услугам.

Д. Менделеев.

ПАМЯТНАЯ ЗАПИСКА ГЛАВНОЙ ПАЛАТЫ МЕР И ВЕСОВ

№ 1*

При подготовительных работах, относящихся к возобновлению фунта, на основании предварительных взвешиваний (марта 1894 г.) Ф. П. Завадского и В. Д. Сапожникова, исходя из международного килограмма, найдены нижеследующие величины веса (в пустоте) граммовых гирь работы Эртлинга, причем для мелких платино-иридиевых гирь, начиная с 50 г до 1 г, принят средний уд. вес, найденный для гирь в 500, 200 и 100 г, а для платиновых полумиллиграммовых гирь (в круглой коробке) принят удельный вес 20.5.

На основании вышеприведенных значений $E\frac{PtIr}{(n)\ г}$ в марте 1894 г. приближенно определены следующие веса фунтов, оставшихся от акад. Купфера, — в граммах, в пустоте:

	Граммы	Объем при 18°, в миллилитрах	Изменение объема на 1°, в миллилитрах
$N\frac{Cu\,Sn}{Ф.\,1833}$	409.50765	48.191	0.00254
$n^{\circ}5\frac{Cu\,Zn}{Ф.\,1834}$	409.50962	51.361	0.00277
$Ф\frac{Pt}{1835}$	409.51236	16.962[1]	0.00052

Для веса 1 л воздуха (сухого, с 0.04% CO_2) при 0° и 760 мм принимается

$$e_0 = 1.2948 \pm 0.0001 \text{ г.}$$

[1] Это число по данным (1876) для уд. веса платинового фунта: $20.5244\frac{0^{\circ}}{4^{\circ}}$; для двух других фунтов определения сделаны вновь.

* Отдельное печатное издание (-листовка-). [*Прим. ред.*].

Обозначение гирь	Поправки, в миллиграммах
$R\,\frac{\text{Pt. Ir}}{\text{II. A.p.}}$	—
n°12 $\frac{\text{Pt. Ir}}{1\ \text{кг}}$ междунар.[1]	+ 0.068
$R_1\,\frac{\text{Pt. Ir}}{1\ \text{кг}}$ Эртлинга[2]	— 2.745
$E\,\frac{\text{Pt. Ir}}{n\ \text{г}}$ 500 г	—45.468
200 »	—17.790
100^a »	— 9.722
100^b »	—10.0.8
50 »	— 4.159
20 »	— 1.619
10^a »	— 0.861
10^b »	— 0.851
5 »	— 0.466
2^a »	— 0.299
2^b »	— 0.255
1 »	— 0.078

Истинный вес в граммах, в пустоте	Объем, в кубических сантиметрах или миллилитрах при 18° Ц	Изменение объема на 1° Ц, в миллилитрах
453.593526	21.207	0.00055
1000.000068	46.429	0.00120
999.997255	46.697	0.00121
499.954592	23.484	0.00061
199.982210	9.413	0.00024
99.990278	4.691	0.00012
99.989992	6.692	0.00012
49.995841	2.349	
19.998381	0.940	
9.999139	0.470	Удельные веса и объемы приняты средние, а именно объем гири в *p* грамм принят=0.04698 *p*. Для гирь 50—1 г сотые доли миллиграмма можно считать верными
9.999149	0.470	
4.999534	0.235	
1.999701	0.094	
1.999745	0.094	
0.999922	0.047	

Полумиллиграммовый разновес Эртлинга, платиновый, в круглой коробке

			в миллиграммах		
$E\frac{Pt}{(n)^1/_2}$ мг	1000 полумиллиграмм	+0.1110	500.1110	0.0244	Удельный вес платины принят = 20.5. В этом разновесе можно считать тысячные доли миллиграмма определенными верно, до ± 0.002 мг
	500 »	+0.0911	250.0911	0.0122	
	200 »	+0.0801	100.0801	0.0049	
	100 »	+0.0299	50.0299	0.0024	
	100 »	−0.0214	49.9786	0.0024	
	50 »	+0.0159	25.0159	0.0012	
	20 »	−0.0040	9.9960	0.0005	
	10 »	−0.0195	4.9805	0.0002	
	10 »	−0.0314	4.9686	0.0002	
	5 »	−0.0347	2.4953	0.0001	
	2 »	−0.0553	0.9447	0.0001	

[1] Вес килограмма п° 12 определен в Международном бюро по архивному килограмму с вероятною погрешностью ± 0.002 мг.

[2] Для R_1 возможная погрешность ± 0.03 мг. Для 500, 200 и 100 г она от ± 0.02 до ± 0.01 мг.

Если температура $=t^\circ$ Ц, давление, приведенное к 0°, равно H_0 мм и упругость водяных паров $=h$ мм, то вес воздуха

$$e=e_0\frac{H_0-\frac{3}{8}h}{760}\cdot\frac{1}{1+0.00367\,t}.$$

Если объем v взвешиваемого предмета выражен в миллилитрах (кубических сантиметрах), то вес вытесненного воздуха, выраженный произведением $v\cdot e$, будет в миллиграммах.

Для скорости расчета, в обычных условиях (т. е. при давлении не менее 740 и не более 770 мм и при температурах между 15 и 20° Ц) можно принять

$$e=1.2067+0.0016\ [(H'-755)+2.6\,(18-t)]\pm 0.00025,$$

где

$$H'=H_0-\frac{3}{8}h.$$

Если при наибольшей плотности ($t=4^\circ$ Ц) вес данного объема воды принять $=1000000$, то можно принимать при указанных температурах нижеприводимые веса S того же объема воды и соответственные изменения $\frac{\partial S}{\partial t}$, отвечающие 1 градусу:

$t=$ 0° Ц	$S=$ **999873;**	$\frac{\partial S}{\partial t}=+65$	При 62° Ф $=13^1/_3$° Р $=16^2/_3$° Ц, $S=998890$
» » 10	» » **998738**	» » — 86	
» » 15	» » **999152**	» » —148	
» » 16	» » **998999**	» » —159	
» » 17	» » **998834**	» » —171	
» » 18	» » **998657**	» » —181	
» » 19	» » **998470**	» » —193	
» » 20	» » **998272**	» » —203	
» » 25	» » **997128**	» » —254	

Вообще, от 10 до 25° Ц отношение S к t выражается равенством $\frac{999738 - S}{t - 10} = 85.8 + 6.48\ (t - 10) - 0.04\ (t - 10)^2$, а численная величина производной

$$\frac{\partial S}{\partial t} = 85.8 + 12.96\ (t - 10) - 0.12\ (t - 10)^2.$$

Все вышеприведенные величины принимаются в работах Главной палаты только до появления более точных определений.

Март 1894 г. *Д. Менделеев.*

М. Ф.
УПРАВЛЯЮЩИЙ
ГЛАВНОЮ ПАЛАТОЮ
МЕР И ВЕСОВ
19 марта 1894 г.
№ 46

Центральный Государственный исторический архив в Ленинграде, ф. 28, оп. 1, дело 195, л. л. 2—3.

*Его превосходительству В. И. Михневичу**

Милостивый государь,

Владимир Иванович!

На отношение Министерства иностранных дел от 18 февраля 1893 г. за № 1293, препровожденное 16 марта 1894 г. Департаментом торговли и мануфактур в Главную палату мер и весов, для отзыва, имею честь заявить:

1) что Министерство финансов несколько лет тому назад обращалось к биржевым комитетам, отделениям Совета торговли и мануфактур и к другим местным торгово-промышленным учреждениям с запросом мнений, касающихся введения метрической системы в России, и получило ответы весьма разнообразные по существу, а именно: некоторые из местных учреждений высказались прямо в пользу, другие прямо против своевременности введения метрической системы в России, большинство же склонялось к тому, чтобы метрическая система введена была первоначально лишь факультативно, подобно тому как сие сделано в Великобритании;

2) что для введения, хотя бы факультативно, метрической системы в России, где система мер и весов давно твердо установлена не только обычаем, но и законом, неизбежно необходимо вновь определить точнейшие соотношения между ныне возобновленными и распространенными метрическими единицами и русскими. Эти отношения подлежали точному, для своего времени, определению лишь в 1835 г., с того же времени успехи метрологии дали возможность производить гораздо более точные сличения. Возможно точное

* Вице-директор Департамента торговли и мануфактур Министерства финансов. [*Прим. ред.*].

сличение узаконенных русских мер с метрическими входит в число дел, возложенных на Главную палату мер и весов, учрежденную лишь с 1 июля 1893 г.

Ныне Главною палатою, по указанию Министерства финансов производится ряд мероприятий, касающихся осуществления этого предмета, и между прочим для сей цели по высочайшему повелению я командируюсь за границу, имея в виду получить, при посредстве Министерства иностранных дел, содействие французского и английского главных поверочных учреждений.

Дабы сделать очевидною предварительную необходимость указанного точнейшего сличения, достаточно указать на то, что вводя в 70-х годах факультативно метрическую систему, великобританское правительство узаконило отношение: 1 метр = =39.37079 дюйма, но все последующие сличения показали, что это отношение ближе к 39.3700 дюйма, чем к узаконенному числу. Вводя же метрическую систему, неизбежно необходимо узаконить отношение ее единиц к российским, и сии узаконяемые отношения, очевидно, должны отвечать всей, в данную эпоху, возможной степени точности. Это возможно, а точное отношение ныне, при предпринятом возобновлении прототипов русских мер, предположено отыскать, и, если желаемое содействие иностранных правительственных учреждений будет получено, я надеюсь, что к концу 1894 г. будут получены желаемые отношения с точностью, в несколько раз превосходящей ту, с какою эти отношения могли быть установлены в 1835 г.

Из сказанного ваше превосходительство усмотрите состояние дела и, вероятно, не откажете сообщить об оном Министерству иностранных дел.

Приложения имею честь при сем возвратить.

Прошу ваше превосходительство принять уверение в совершенном почтении и готовности к услугам.

Д. Менделеев.

Главная Палата мер и весов. Дело № 13, 1894 г. «Об увеличении суммы, отпускаемой на издание отчетов Палаты и приобретение книг и об уплате денег типографии Демакова за напечатание», л. л. 1—3.

11 апреля 1894 г.
№ 63

Его высокопревосходительству С. Ю. Витте *

Ваше высокопревосходительство,

Сергей Юльевич!

Составив, согласно Положению о Главной палате мер и весов (ст. 5), 1-ю часть отчета о работах и исследованиях, произведенных в Главной палате, имею честь представить печатный экземпляр 1-й части «Временника Главной палаты» вашему высокопревосходительству. Причем считаю долгом выставить на вид, что многие капитальные работы, начатые в Палате по поводу предначертанного и уже начатого возобновления прототипов, потребуют для своей публикации, во-первых, значительного объема, не могущего отвечать небольшим средствам, отпускаемым на печатание текущих отчетов Палаты, и, во-вторых, немаловажных расходов на чертежи и таблицы, а потому покорнейше прошу отпустить в будущем 1895 г. на издание на русском языке (во «Временнике») отчетов о возобновлении прототипов, сверх положенного по штату, еще 1500 руб. единовременно, о чем считаю долгом заявить ныне же, т. е. ранее срока составления сметы на 1895 г.

Отправляясь в заграничную командировку, относящуюся к тому же возобновлению прототипов, считаю сверх сего необходимым вновь ходатайствовать пред вашим высокопревосходительством: 1) о том, чтобы в смету на 1895 г. была включена сумма на постройку дома для служащих в Палате, так как расход в 80 тыс. руб., для сего необходимый, представляет лишь капитализацию квартирных денег, ныне выдаваемых в Палате, и так как устройство дома для служа-

* Министр финансов. [*Прим. ред.*].

щих в Палате неизбежно необходимо для правильного сличения [прототипов и для] продолжительных и точных исследований, в ней производимых, и 2) о том, чтобы ныне летом верхний этаж здания Палаты поступил в ее пользование, что необходимо, как по недостатку места в одном нижнем этаже для умножающихся работ учреждения, так и для того, чтобы достичь всей возможной точности при предстоящих точных измерениях, неизбежных при возобновлении основных единиц меры и веса, ибо ныне точнейшие измерения нарушаются движениями, производимыми в посторонних учреждениях, временно помещенных в верхнем этаже здания, построенного исключительно для мер и весов.

Прошу ваше высокопревосходительство принять уверение в совершенном почтении и готовности к услугам.

Д. Менделеев.

Центральный Государственный исторический архив в Ленинграде, ф. 28, оп. 1, дело 184, л. л. 9—10.

8 января 1895 г.
№11

Его превосходительству В. И. Ковалевскому

Милостивый государь,

Владимир Иванович!

Возвращая при сем отзывы, сообщенные его высокопревосходительству г-ну министру финансов по поводу проекта международной конвенции об установлении однообразия электрических единиц г. г. министрами: внутренних дел, военным, народного просвещения, земледелия и государственных имуществ, путей сообщения, управляющим морским министерством и министром статс-секретарем великого княжества Финляндского, считаю со своей стороны весьма желательным, чтобы Россия присоединилась к международной конвенции об установлении однообразия электрических единиц. При этом считаю долгом заметить:

1) что присоединение России к международной конвенции, касающейся электрических единиц, должно окончательно упорядочить в России, как и повсюду, все практические сделки, относящиеся до электричества как силы, долженствующей получить все более широкие практические применения;

2) что установка и выверка образцов, служащих для электрических измерений, первоначально должна быть, по смыслу самого дела, поручена Главной палате мер и весов, для чего не может потребоваться значительных средств казны; доныне же в Главной палате мер и весов устройства и измерения подобного рода не производились, и

3) что в практическом применении присоединение России к конвенции не может встретить основных препятствий, так как уже и ныне, хотя без особой проверки, в практике приняты у нас электрические меры, сходственные с проектированными в конвенции.

Что же касается до установления соглашения в отношении единицы силы света — в виде сплавленной платины, то я, с своей стороны, предвижу много практических трудностей в применении таковой единицы на практике, а потому считаю полезным ныне не вступать в конвенцию, касающуюся установления световой единицы, тем более, что в практике доныне применяется преимущественно выражение силы света числом нормальных свечей и существенных затруднений при сем не встречается, точнейшие же способы определения силы света доныне нельзя считать ни достаточно выработанными с научной стороны, ни требующимися со стороны практики.

Прошу ваше превосходительство принять уверение в совершенном почтении и готовности к услугам.

Д. Менделеев.

Центральный Государственный исторический архив в Ленинграде, ф. 28, оп. 1, дело 203, л. л. 3—5.

26 мая 1895 г.
№ 91

Его превосходительству В. И. Ковалевскому

Милостивый государь,

Владимир Иванович!

Министерство народного просвещения заявило, что Пулковская обсерватория за недостатком свободных средств (10 087 франков) и вследствие желания иметь нарезной метр отказывается от заготовленного для России в Парижском Международном бюро концевого платино-иридиевого метра, а потому Министерство народного просвещения[1] спрашивает, не желает ли Палата приобрести заготовленный для России концевой метр. Прежде чем ответить на такой вопрос, считаю долгом сообщить вашему превосходительству следующие соображения:

1) изготовление концевых прототипов метра и их сличение с нарезными прототипами составило большую и очень сложную работу Международного метрического комитета, длившуюся лет пять, и можно, наверное, сказать, что такая работа вновь никогда не повторится;

2) поэтому упустить случай получить такой метр для Главной палаты было бы не только нежелательно, но даже и непростительно, так как подобные случаи не повторяются, заказать этого нельзя;

3) в Главной палате нет не только таких, как этот метр, концевых мер, но и ничего по совершенной точности ему подобного, и иметь их необходимо, так как в практике множество измерений производится концевыми мерами и необходимо иметь разнородные их образцы, которые Палата предполагала строить лишь со временем, когда будут исполнены другие настоятельнейшие дела;

[1] В отношении от 16 мая 1895 г. за № 10550.

4) так как впоследствии имеется в виду факультативно ввести (допустить) в России метрический способ измерений, то Главная палата заблаговременно должна быть снабжена всеми способами, необходимыми для метрических измерений, не имея же концевого прототипа метра, должна будет сама затратить годы на его заготовку и выверку;

5) некоторые предначертанные для Палаты исследования, особенно же определение веса определенного объема воды, требуют именно концевого метра, который ныне может быть получен;

6) при заказе в 70-х годах для центрального учреждения России имелось в виду, как значится в донесении тайного советника В. С. Глухова от 5 ноября 1880 г. за № 51, снабдить бывшее Депо тремя метрическими прототипами из Международного бюро: одним килограммом, одним метром концевым (mètre à bouts) и одним метром нарезным (mètre à traits).

Из них два приобретены, третий же, а именно концевой метр, должен поступить в Главную палату.

На основании этого имею честь просить ваше превосходительство ходатайствовать пред г-ном министром финансов о приобретении для Главной палаты названного метра, имея в виду, что потребная для сего сумма, а именно 10 087 франков, настолько значительна, что ее нельзя отнести ни на текущие средства Главной палаты, ни на суммы, назначенные для возобновления прототипов.

В заключение считаю необходимым указать на то, что Россия в 70-х годах заказала концевой метр Международному бюро и директор оного г. Бенуа известил меня телеграммою, что такой метр готов для России без ближайшего обозначения того русского учреждения, для которого он назначается. Следовательно, так или иначе, России будет необходима приготовленная мера, и желательно, чтобы этот неизбежный расход доставил именно Главной палате необходимый для нее прототип.

Прошу ваше превосходительство принять уверение в совершенном почтении и преданности.

Готовый к услугам

Д. Менделеев.

Приписка г-на управляющего Палатой

Ответ желательно получить поскорее, а уплату, я полагаю, можно отложить до следующего сметного года, если она еще не сделана, о чем в Палате неизвестно.

М. Ф.
ГЛАВНАЯ ПАЛАТА
МЕР И ВЕСОВ
5 октября 1895 г.
№ 175

Главная палата мер и весов. Дело № 14 «О необходимости возобновления образцовых единиц веса в России» (21 XII 1892—12 XI 1899), л. л 187—192.

Его превосходительству В. И. Ковалевскому

Милостивый государь,

Владимир Иванович!

Честь имею довести до сведения вашего превосходительства, что, отправившись в начале августа 1895 г. в заграничную командировку, в качестве представителя России на международную конференцию мер и весов,

во-первых, я выполнил это поручение, о чем считаю излишним особо распространяться, присовокупив только сведение о выборе меня в число членов Comité permanent International des Poids et Mesures;

во-вторых, получил в Париже платино-иридиевый концевой эталон метра, приобретенный по распоряжению его высокопревосходительства г-на министра финансов для Главной палаты, три выверенные в Международном бюро (по водородной шкале) нормальных термометра и две гири (в 500 г и в 1 фунт) из горного хрусталя, выверявшихся с 1892 г. в том же Международном бюро;

в-третьих, изучил приемы и устройство образцовых метрологических учреждений, а именно: Bureau International в Бретейле около Парижа, Physikalisch-Technische Reichsanstalt в Шарлотенбурге (часть Берлина) и Normal Eichungs-Kommission в Берлине, причем увидел: a) что наши устройства для взвешиваний не только не уступают, но даже превосходят в некоторых отношениях существующие в Париже, Берлине и Лондоне, b) что наши средства компарации мер длины уступают парижским и требуют возобновления, c) что термометрия у нас устанавливается совершенно сходно с парижскою, во всех отношениях образцовою, и d) что в отношении выверки других единиц (например, световых,

газовых, водяных, электрических и т. п.) нашему учреждению, чтобы встать в уровень с западноевропейскими, следует сделать весьма многое, для чего, однако, в настоящее время недостаточно ни средств, ни наличных сил Главной палаты мер и весов.

Наконец, в-четвертых, во время моего двухнедельного пребывания в Лондоне, я успел вместе с г-ном Блумбахом, особенно благодаря помощи лиц, о которых пишу ниже, закончить все для заготовки и сличения с английским главным прототипом ярда — все четыре наших возобновляемых прототипа мер длины. А так как сверх того ранее были произведены надлежащие сличения бронзового ярда, приобретенного для Палаты, и медного ярда Эри, временно уступаемого лондонским Standards Department для окончательных работ, предстоящих при возобновлении прототипов, то вся часть этого дела, относящаяся к Лондону, ныне закончена, и г. Блумбах вместе со мною возвратился в Россию, что было тем необходимее, что весьма сложное дело безопасной перевозки прототипов нельзя было выполнить одному, так как с укупоркою получился груз в $5^1/_4$ пудов, который нельзя было сдавать в багаж, а необходимо было перевозить, во избежание случайностей, помещая с собою в пассажирских вагонах. Ныне и эта часть дела, т. е. безопасная перевозка, выполнена, как я уже известил Департамент (от 30 сентября 1895 г. за № 168).

Таким образом, ныне закончено все, что следовало выполнить за границею для предстоящего возобновления русских прототипов; остается произвести окончательные сличения в самой Главной палате мер и весов. Проектом предначертанные платино-иридиевые гири и разделенные меры длины, ныне имеющиеся в нашем распоряжении, выполнены со всевозможным ныне совершенством из наиболее неизменного материала — иридистой платины; одна же из мер длины, а именно полусажень с нанесением на ней аршина и его подразделений, ярда и его подразделений и метра с подразделениями — всего с 300 линиями, представляет единственный в мире экземпляр, драгоценный во множестве отношений, тем более, что он прямо сличен с Imperial Yard в Лондоне и имеет деления не только на внутренней, нейтральной плоскости, но и на верхнем ребре, что допускает наибольшую уверенность при выверке и дает возможность судить об отсутствии перемен в структуре прототипа.

Считаю при этом необходимым обратить внимание вашего превосходительства на то, что законченная и труднейшая

шая часть работы возобновления прототипов у нас совершилась в течение двух истекших лет, тогда как в Международном бюро она длилась с 1872 по 1885 г. Эта скорость исполнения, равно как и прекрасные качества новых наших прототипов, много зависят от того просвещенного, деятельного и во всех отношениях благоприятного отношения, какое встретило наше дело в соответственных сферах Англии. Это обстоятельство побуждает меня просить, чтобы ваше превосходительство не только официально заявили благодарность начальству Board of Trade, во главе коего стоит сэр Куртене Бойль, но и представили на усмотрение его высокопревосходительства г-на министра финансов следующее мое мнение о необходимости благодарить лиц, содействовавших успешному окончанию и сличению наших прототипов в Англии:

1) Г-н Ченей (H. G. Chaney) начальник главного английского учреждения для мер и весов (Superintendent of Weights and Measures, Standards Department, Board of Trade), в продолжение $1^1/_2$ лет, можно сказать, ежедневно заботился и помогал нам, т. е. мне и г-ну Блумбаху, всеми способами довести наше дело до желаемого наилучшего результата, давал в наше пользование все средства заведываемого им учреждения и дружелюбнейшим своим образом действий и личными трудами много облегчил всю нашу работу. Им, вместе с нами, подписаны и все официальные протоколы сличений.

Если бы английским подданным выдавались русские орденские знаки, то я бы осмелился ходатайствовать о награждении г-на Ченея орденом Анны 2 степени. Но так как, сколько мне известно, английским подданным русские ордена не назначаются, то было бы желательным послать г-ну Ченею, при соответственном письме, серебряный, русского стиля, прибор, ценою от 700 до 1000 руб., подобно тому, что в прежнее время предшественник г-на Ченея, г. Чисгальм, по ходатайству генерала Глухова при выверке фунта, получил соответственный подарок в виде серебряной вазы. Англичане очень ценят изящные серебряные изделия русского стиля, и, если бы на сервизе была выполнена соответственная надпись, то она значительно увеличила бы привлекательность подарка, которым мы не можем оплатить множества услуг, оказанных г-ном Ченеем делу возобновления русских прототипов.

2) Г-н Симмс (I. Simms), маститый представитель исторически и всемирно известной и весьма богатой фирмы (Trough-

ton and Simms, Opticians and Mathematical instrument makers, London 138, Fleet Street), принял на себя весьма сложное дело окончательного заготовления и разделения наших прототипов длины и все главнейшие части работы, т. е. нанесение окончательных делений на подготовленные меры, выполнил с величайшим интересом к делу лично сам, причем, по ходу дела и по новизне многих частей работы, пришлось исполнить множество предварительных работ. При представлении счета за исполненные работы, он, судя по прилагаемой копии письма и по многим счетам соответственных работ, взял лишь за материал и плату рабочим, оценку же своего личного труда предоставил мне, а словесно объяснил затем, что он вовсе не желает получить какое-либо денежное вознаграждение. По собранным мною сведениям, то, что выполнено для нас лично самим г-ном Симмсом, у других, менее опытных и достойных мастеров, стоило бы, по крайней мере, 200 фунтов стерлингов, или около 2000 руб.

Ввиду такого положения предмета осмеливаюсь ходатайствовать о том, чтобы г-ну Симмсу было адресовано соответственное официальное письмо и выдан был какой-либо изящный предмет русского серебряного производства, ценностью в 500—700 руб.

3) Во все продолжение наших работ в Standards Department в Лондоне все его служащие оказывали нам неисчислимую помощь, мы работали как у себя дома, а потому я полагаю уместным выдать, послав чрез посольство, следующие денежные вознаграждения, соображенные со значением услуг и с положением лиц:

а) г-ну Стансфильду (Mr. Stansfield, office keeper, соответствует нашему экзекутору) 25 фунтов стерлингов, б) г-ну Риду (Mr. Read, chief mechanic [— главному механику]) 15 фунтов стерлингов, в) г-ну Францису (Assistant mechanic — младшему механику) 10 фунтов стерлингов и г) г-ну Меддену (Mr. Medden, messenger, т. е. курьеру) 5 фунтов стерлингов, всего 55 фунтов стерлингов (около 500 руб.). С уверенностью могу сказать, что если бы мы не получили от названных лиц тех услуг, которые они выполняли, то в $1^1/_2$ года истратили бы несравненно более 500 руб. на передачу части мелких работ посторонним лицам.

Оконченная часть дела возобновления русских прототипов очень многим обязана неусыпным трудам, превосходной подготовке и находчивости г-на Блумбаха, жившего $1^1/_2$ года в Лондоне и почти безвыходно работавшего в Standards

Department. Его труды заслуживают особой награды, но ходатайство о ней я считаю полезным отложить до времени окончания всех работ, в которых много труда выпало и на долю других служащих в Главной палате, которые также достойны особых наград.

Примите, ваше превосходительство, уверение в совершенном почтении и готовности к услугам.

Д. Менделеев.

МИНИСТЕРСТВО ФИНАНСОВ
ДЕПАРТАМЕНТ ТОРГОВЛИ
И МАНУФАКТУР
ГЛАВНАЯ ПАЛАТА
МЕР И ВЕСОВ

Ваше высокопревосходительство,

Сергей Юльевич!

Честь имею представить отчет о возобновлении русских прототипов мер веса (массы) и длины.* Возобновление это, начатое в 1893 г. по высочайшему повелению, согласно с Вашим представлением и мнением Государственного совета (утвержденным 8 июня 1893 г.), закончено Главною палатою мер и весов в 1898 г. Отчет о сем возобновлении разделен мною на четыре части. В первой части излагаются соображения о цели и необходимости возобновления, описываются приемы, при нем примененные, даются результаты измерений и приводятся вновь предлагаемые правила, которыми можно, казалось бы, обеспечить на неопределенно долгое время сохранность прототипов и возможно точное воспроизведение оных в мерах и весах, применяемых в торговле и промышленности. Во второй части следующего за сим отчета описываются приемы взвешиваний, их расчет и весы, примененные при возобновлении. Подробное описание всего этого необходимо по той причине, что в Главной палате мер и весов при возобновлении прототипов, для возможного увеличения точности результатов, введены разные усовершенствования, описание которых имеет свое значение в метрологической науке. В третьей части отчета совокуплено все то, что относится к возобновлению прототипов мер длины. Часть эта изложена более кратко по той причине, что для сличений мер длины Главная палата мер и весов могла располагать лишь старым компаратором, уже описанным при других метрологических исследованиях. Наконец, в четвертой части отчета о возобновлении сведены все численные данные наблюдений, имеющие прямое значе-

* Отчет в полном виде считается несохранившимся. См. примечание на стр. 393. [*Прим. ред.*].

ние при расчете результатов, дабы дать возможность проверить оные и сохранить в науке летопись большого труда, совершенного в 1893—1898 гг. Главною палатою мер и весов при возобновлении русских прототипов веса и длины.

Из отчета Вы изволите усмотреть, что при выполненном ныне возобновлении постоянно имелось в виду, согласно с указаниями вашего высокопревосходительства:

во-первых, воспроизвести со всею точностью, доступною для нашего времени, единицы веса и длины, доныне принятые в России, дабы новые прототипы совершенно соответствовали, по своей мере, ранее узаконенным, и, представляя новые гарантии неизменности, доставили полную возможность для дальнейших мероприятий по отношению к мерам и весам, применяемым страною;

во-вторых, содействовать облегчению точнейшего перехода от них к метрическим мерам, приобретающим ежегодно более широкое международное значение, особенно благодаря деятельности Международной метрической комиссии, в которой Россия принимает участие с основания и доныне,

и, в-третьих, обеспечить на будущее время неизменную сохранность узаконенных ныне мер веса и длины при помощи возможно точного изучения основных копий прототипов.

В сравнительно быстром исполнении сложных и исключительных задач, представившихся при возобновлении прототипов, как и во всех текущих работах Главной палаты мер и весов, мне помогал весь немногочисленный персонал этого нового учреждения, но я считаю себя обязанным засвидетельствовать пред вашим высокопревосходительством об особо усердном содействии трех из моих сотрудников, а именно: Ф. П. Завадского, Ф. И. Блумбаха и В. Д. Сапожникова, так как эти лица посвятили делу возобновления много внимательнейшего труда и опытного знания, которые и позволили закончить возобновление прототипов русских мер в срок, несравненно более короткий, чем тот, в который совершились возобновления прототипов веса и длины в Англии (1834—1855) и Франции (1872—1889).

Смею надеяться, что изложение некоторых чисто научных задач, представившихся или решенных при выполненном возобновлении русских прототипов, придаст в глазах Ваших свое значение всему предлагаемому отчету, хотя самое возобновление вызвано практическою и живою потребностью нашей страны в усовершенствовании мер и весов, так как промышленное и торговое положение России требует особого внимания в этом сложном и трудном деле. Оно

лишь начинается с возобновления прототипов, отвечающего как непрерывности совершенствования мер и весов, так и исторической последовательности в мероприятиях, до них относящихся.

Управляющий Главною палатою мер и весов, заслуженный профессор императорского С.-Петербургского университета и почетный член Совета торговли и мануфактур

Д. Менделеев.

Доктор университетов: имп. С.-Петербургского, Единбургского, Гёттингенского, Оксфордского, Кембриджского и Принстонского (New Jersey, U. S.); член Королевского общества (Royal Society) в Лондоне и королевских обществ Единбургского и Дублинского; член Академий наук: Римской (Accademia dei Lincei), Американской (Бостон), Датской (Копенгаген), Юго-Славянской (Загреб), Чешской (Прага), Краковской, Ирландской (R. Irish Academy, Дублин) и Бельгийской (associé Брюссель); член имп. Академии Художеств (С.-Петербург); почетный член: Королевского института (Royal Institution of Great Britain, Лондон), императорских университетов в Москве, Казани, Харькове, Киеве и Одессе, имп. Медико-хирургической академии (С.-Петербург), Московского технического училища, Петровской земледельческой академии (бывшей около Москвы) и Института сельского хозяйства в Новой Александрии; Фарадеевский лектор (Faraday lecturer) и почетный член Английского химического общества (Chemical Society, Лондон); почетный член Русского физико-химического общества (С.-Петербург), Немецкого химического (Deutsche Chemische Gesellschaft, Берлин); Американского химического (Нью-Йорк), имп. Русского технического (С.-Петербург), имп. С.-Петербургского минералогического, имп. Московского общества испытателей природы и общества любителей естествознания при Московском университете; почетный член Общества естествоиспытателей: в Казани, Киеве, Риге, Екатеринбурге (Уральского), Кембридже, Франкфурте-на-Майне, Гётеборге, Брауншвейге и Манчестере, Политехнического в Москве, Московского и Полтавского сельскохозяйственных обществ и С.-Петербургского собрания сельских хозяев; почетный член Общества охранения народного здравия (С.-Петербург), Общества русских врачей в С.-Петербурге, Медицинских обществ: С.-Петербургского, Виленского, Кавказского, Вятского, Иркутского, Архангельского, Симбирского и Екатеринославского и Фармацевтических обществ: Киевского, Великобританского (Лондон) и Филадельфийского; корреспондент: имп. С.-Петербургской Академии Наук, Парижского и Лондонского обществ поощрения промышленности и торговли, Туринской Академии наук, Гёттингенского ученого общества и Батавского (Роттердам) общества опытных знаний и проч.

1897 Считаю, что эта таблица (см. п° 261) внесла много стройного и нового. Все это я помещаю для того, чтобы показать те изменения и усовершенствования, каким подвергался проект закона о мерах и весах, пока не был утвержден.

314 Отношение русс. мер к метрическ. и английским, состав. 1897.

314 Отношение русс[ких] мер к метричес[ким] и английским, состав[лено] [в] 1897 [г].

В Департамент торговли и мануфактур
В Комиссию 1897 г. по пересмотру законоположений о мерах и весах

ПРОЕКТ РАСЧЕТА ОТНОШЕНИЙ ОСНОВНЫХ МЕР РОССИИ, ФРАНЦИИ И ВЕЛИКОБРИТАНИИ ПО ДАННЫМ НАЧАЛА 1897 г.

1. Единицы веса и массы

Таблица I*

Исследования, произведенные в 1894 г. и вновь повторенные в 1896 и 1897 гг. в Главной палате мер и весов, показали, что платиновый прототип фунта Комиссии 1835 г. весит 409.51236 г ± 0.00001 г, а новый прототип русского фунта из иридистой платины, с вензелем государя императора Николая II, 1894 г., весит 409.512404 г, с точностью до ± 0.000005 г, а потому в основание расчета принято:

русский фунт = 409.51240 г.**

Наиболее достоверные (и официально признанные) исследования, произведенные в 1885 г. в Лондоне (Standards Department) и Париже (Bureau International à Breteuil) показали, что английский фунт (lb) Avoirdupois весит 453.5924277 г по международной метрической системе. Точность этого определения должно считать не более ± 0.00004 г, а потому в основание принято:

английский lb = 453.59243 г.

---

* Приложенные к письму таблицы I, II, III и IV не воспроизводятся. [*Прим. ред.*].

** В апреле 1899 г. было окончательно принято 409.512 г. [*Прим. ред.*].

А так как в двух вышеуказанных соотношениях погрешность определений близка к ± 0.00000001 от величины веса и, при современном состоянии взвешиваний, реальное значение могут иметь только десятимиллионные доли веса, то в табл. I дано лишь по 8 цифр, так как за точность следующих цифр ручаться невозможно.

2. Меры линейные или погонные

Таблица II

Русские линейные меры, по закону Петра Великого, приведены в точное согласование с английскими, а именно принято, что

1 сажень = 7 английским или русским футам = 3 аршинам.

Английские меры (а именно ярд = 3 футам) многократно (Kater, Clarke, Tittman, Roggers и др.) сличались с метром, но наиболее точное сличение двух хорошо изученных (в Лондоне: г.г. Ченеем, Блумбахом и др.) копий ярда с основною копиею Международного метра произведено было (г-ном Бенуа) в Международном бюро в Бретейле в 1895 г., причем постановлением Международной конференции принято считать 62° Ф (нормальная температура для длины ярда) равными 16.667° по стоградусной шкале водородного термометра, и при этом условии получено, по одной из копий ярда, что ярд равняется 0.9143992 м. Но так как в определениях (преимущественно по причине довольно значительной толщины линий, определяющих длину ярда) встречаются отклонения, достигающие до ± 0.0000010 м, и значения ярда, превосходящие 0.91440000 м, то отношение ярда к метру нельзя установить точнее, как до миллионных долей, а потому для расчета табл. II и III положено в основание, что

$$\text{ярд} = 0.914400 \text{ м},$$

и все отношения даны только в 6 цифр, так как 7-я и дальнейшие цифры сомнительны и не имеют ныне приложения в практике, даже геодезической.

3. Квадратные и кубические меры

Таблица III

Меры плоскостные (квадратные) и объемные (кубические) определяются непосредственно из линейных, и степень точно-

сти их отношений, очевидно, менее, чем для линейных мер. По этой причине дано лишь 6 цифр и в последней уже можно ждать погрешность.

4. Меры для жидких и сыпучих веществ

Таблица IV

Так как определение объемов жидких и сыпучих (хлебов) веществ и вместимости сосудов, для них назначаемых, точнее всего производится взвешиванием совершенно чистой воды, имеющей определенную температуру и наполняющей объем, то этим способом издавна определены объемные меры в России и Англии; а именно, в России *ведро* принято равным объему 30 русск. фунтов совершенно чистой воды при $13^1/_3°$ Реомюра, при взвешивании в безвоздушном пространстве, а *гарнец*, или $^1/_8$ четверика, или $^1/_{64}$ четверти для сыпучих тел = объему 8 русск. фунтов такой же воды; в Великобритании же: *галлон*[1] (для жидкостей = 4 Quarts = 8 Pints = = 32 Gills), или $^1/_8$ бушеля (для сыпучих тел; 1 Bushel = = 4 Pecks = $^1/_8$ Quarter) принят равным объему 10 англ. фунтов чистой воды при 62° Ф, при взвешивании воды в воздухе бронзовыми гирями, когда давление воздуха 30 дюймов и температура 62° Ф. Известно, что первоначально метрическая система предполагала выразить вес килограмма массою воды (взвешенной в пустоте) при ее наибольшей плотности, занимающей объем кубического дециметра, и чрез это совершенно исключить самостоятельное понятие о мере объемов, а потому литр считался равным $^1/_{1000}$ м^3 или = = 1 дм^3 и применялся для измерения объема жидкостей, а гектолитр, или 100 л для измерения сыпучих веществ. Исследования, публикованные затем Купфером (1841) в России и Ченеем (1892) в Англии, показали, однако, с несомненностью и великим сходством (Менделеев, Временник Главной Палаты мер и весов, 1895, ч. 2, стр. 3; Proceedings of Royal Society of London, 1896, стр. 155), что истинный (в безвоздушном пространстве) вес кубического

[1] Это новый (с 1824 г.) Imperial gallon; ранее сего применялся в Великобритании и *ныне остается* в С.-А. С. Штатах Winchester gallon, вместимость которого меньше и считается равною 0.83292 Imp. gallon (Our Weigts and Measures, by H. J. Chaney, London, 1897, стр. 35). Для сыпучих тел (хлебною мерою) применяется в С.-А. С. Штатах Bushel, равный 0.96944 Imp. bushel, а в 31 штате (всего 38 штатов) принято впредь считать бушель пшеницы равным 60 англ. фунтам; это уничтожает всякое значение объемной меры для определения количества хлеба и к этому, по видимости, идут повсюду, в том числе и в России.

дециметра совершенно чистой воды при ее наибольшей плотности явно менее 1000 г, а именно не более 999.85 и не менее 999.82 г,[1] так что литр можно было определять или как 1 куб. дециметр, или как объем, занимаемый 1000 г воды при ее наибольшей плотности. Международный метрический конгресс избрал последний способ определения, а потому ныне *литр* принят равным объему 1000 г воды при ее наибольшей плотности, производя взвешивание в пустоте. К сожалению, при этом не прибавлено, под каким давлением должно измерять объем воды, так как сжимаемость ее $=(50-0.12\,t)\,10^{-6}$ на одну атмосферу, а потому, если, как это обыкновенно и считается, принимать воду под давлением атмосферы, кубический дециметр ее вмещает $999.84 \pm \pm 0.02$ г воды при ее наибольшей плотности, а если считать, что вода находится действительно в безвоздушном пространстве,[2] то вмещается только 999.79 ± 0.02 г воды при ее наибольшей плотности. Поэтому, по первому (обычному) способу определения, 1 литр, отвечая объему 1000 г воды при ее наибольшей плотности, представляет объем $= = 1000.16 \pm 0.02$ см^3, а по второму 1000.21 ± 0.02 см^3. Следовательно, строго говоря, литр и ныне заключает некоторую неопределенность, достигающую ± 0.00005 его величины. Если принимать для литра, как для ведра и галлона, что вода, наполняющая объем, находится под давлением атмосферы (литр $= 1.00016 \pm 0.00002$ дм^3), то все же погрешность величины такого объема нельзя считать менее ± 0.00001 его величины уже по той причине, что атмосферное давление изменяется, по крайней мере, от 790 до 630 мм в обитаемых людьми местах, а такая перемена давления ($= {}^1/_5$ атмосферы) изменяет вес данного объема воды на ± 0.00001.

---

[1] В сущности вывод Купфера и Ченея относится к весу (в безвоздушном пространстве) кубического дюйма воды при 62° Ф $= 13{}^1/_3$° Р, если считать по ртутному (а не по водородному, как ныне принято) термометру, и дает в среднем 16.366349 г; считая же, на основании совокупности лучших определений, что при этой температуре удельный вес (по отношению к воде при ее наибольшей плотности) воды равен 0.998890, получается 16.384536 г в 1 куб. дюйме при температуре наибольшей плотности воды. А так как объем 1 куб. дюйма $= 0.0163871$ дм^3, то в 1 дм^3 вмещается 999.844 г воды при наибольшей ее плотности. В этом числе надо признать возможную погрешность не менее ± 0.020 г; а в сторону уменьшенного веса и еще немного более, потому что пузырьки воздуха, вероятно, были, хотя и в малом числе, как у Купфера, так и у Ченея, когда они взвешивали тела, погруженные в воду.

[2] Надо, однако, заметить, что вода в безвоздушном пространстве будет находиться не под нулевым давлением, а под давлением, равным упругости своего пара.

Поэтому, в расчете отношения объемов не следует давать более 5 цифр и можно принимать:[1]

$$1 \text{ куб. метр} = 999.84 \pm 0.02 \text{ литра},$$

$$1 \text{ литр} = 1000.16 \pm 0.02 \text{ см}^3 \text{ (куб. сантиметра)}.$$

К подобному же заключению о степени точности в объемах (только до стотысячных долей) приводит и то обстоятельство, что вес воды, отвечающей объему, дается в разных странах при разных температурах (то при 62° Ф = 13⅓° Р = = 16⅔° Ц, то при 4° Ц) и по весу, выраженному или в пустоте (ведро, литр), или в воздухе (галлон), и приведение к одним нормам сопряжено с погрешностями, существующими как в данных о расширении воды, так и в сведениях о весе литра или другого объема воздуха. Притом температура 62° Ф = 13⅓° Р = 16⅔° Ц определялась до постановления Международного конгресса (1887) по ртутным термометрам, а они представляют между собою разности, доходящие до 0.15°, что отвечает перемене объема воды на 0.00003. Чтобы избежать такой погрешности, проще всего: считать все температуры данными по водородному термометру, что и принято далее на основании того, что Международная конференция (1895), при сличении метра с ярдом, приняла 62° Ф равными 16⅔° Ц по стоградусной (Цельзия) международной шкале водородного термометра.

Чтобы найти при этом условии соответствие между объемами ведра, галлона и литра, следует знать расширение воды. До миллионных долей показания всех новейших исследователей этого предмета (как сообщено во «Временнике Главной Палаты», 1897, ч. 3, стр. 133) сходствуют и могут быть выражены (если T считается по водородному термометру) формулою, выведенною мною из новых (1897) данных Thiesen, Scheel und Diesselhorst:

$$S_t = 1 \frac{(T-4)^2}{118932 + 1366.75\,T - 4.13\,T^2} \pm 0.000001.$$

Эта формула дает, для $T = 16.667°$, $S_t = 0.998859$.[2] Поэтому, если бы русское ведро наполнить водою при наибольшей

[1] Но этот вывод требует еще новых подтверждений, которые должны доставить работы, предпринятые как в Международном бюро, так и в Главной палате мер и весов.

[2] Если же считать t по ртутному термометру, то (см. выше) $S = 0.998890$, разность $= 0.000031$, что отвечает 0.15°.

ее плотности, то (определяя вес воды в безвоздушном пространстве) в него вместилось бы:

$$\frac{30}{0.998859} \cdot 409.51240 \text{ или } 12299.41 \text{ г воды при } 4°.$$

Отсюда:

1 *ведро* = 12.2994 л = 12301.4 см³ (куб. сантиметра) = = 750.676 куб. дюйма

1 *четверик* = 26.2387 л = 26242.9 см³ (куб. сантиметра) = = 1601.44 куб. дюйма

Для того чтобы найти вместимость галлона, прежде всего следует сделать приведение веса вмещающейся воды к безвоздушному пространству. Так как (Временник, 1894, ч. 1, стр. 86) вес литра чистого (без H_2O и CO_2) воздуха при 0° и 760 мм $e_0 = 0.131844\,g$ г ± 0.00010 г и для Лондона $g = 9.8126$ м, то $e_0 = 1.2937$ г. При содержании (как по Доброхотову, в Главной Палате мер и весов, см.: Временник, ч. 3, стр. 92) 0.042 об. % CO_2 (плотность по воздуху = = 1.52) $e_0 = 1.29398$. При условиях, данных при определении галлона, т. е. при 16.667° Ц (= 62° Ф), при относительной влажности = $^2/_3$ ($h = 9.4$ мм) и при давлении барометра 30 дюймов ($H = 762.0$ мм) вес литра воздуха (Временник, ч. 2, стр. 10) $e = 1.2170$ г. Плотность бронзовых гирь принимается в Англии (см.: Chaney. Our Weights and Measures. 1897, стр. 88) = 8.143, а потому объем десяти английских фунтов гирь = 4.53592/8.143 = 0.557 л, объем же галлона взвешиваемой воды (10 lbs) = 4.546 л, а потому объем вытесненного воздуха = 4.546 − 0.557 = 3.989 л, следовательно вес воздуха = 3.989 · e = 4.8546 г. А так как 10 lbs = 4535.9243 г, то истинный (в безвоздушном пространстве) вес воды (при $16^2/_3$°), вмещаемой галлоном = 4540.7789 г. Если бы вода имела наибольшую плотность, то вес ее был бы = 4545.961 г, а потому:

1 *галлон* = 4.54596 л = 4546.69 см³ (куб. сантиметра) = = 277.456 куб. дюйма[1]

[1] По определениям 1826 г. (Chaney. Our Weights and Measures. 1897, стр. 11), галлон содержит 277.274 куб. дюйма. По определению Купфера, в ведре содержится 750.57, а в четверике 1601.22 куб. дюйма. Эти последние определения вошли и в закон, изданный в 1835 г. окт. 11,

Вообще, при составлении предлагаемых далее таблиц, принято, как правило, приводить только такое число цифр, какое возможно с уверенностью дать при существующей ныне степени точности измерений, а потому, хотя последняя из приводимых в таблицах цифр и дается на точных основаниях, но в ней, при новых точнейших метрологических измерениях, в некоторых случаях можно ждать изменения на ± 1, но едва ли более. В обычной же практике, очевидно, всякие измерения представляют сравнительно меньшую степень точности. Расчеты исполнены мною (и повторены г.г. Завадским, Блумбахом, Сапожниковым и Доброхотовым) и будут, после окончательной выверки, дополнены и публикованы на основании 7 пункта статьи (ст. 664, Свод законов, т. XI, ч. 2, изд. 1893 г.) о Главной Палате мер и весов, когда будет установлен новый закон о мерах и весах.

Примечание. Те из отношений, приводимых в таблицах, которые определяются системою, принятою в законах, отмечены знаком (*) и выражены целыми числами или простыми дробями, но для удобства расчетов все соотношения даются в десятичных своих значениях.

11 марта 1897 г. *Д. Менделеев.*

так что ведро и четверик определены абсолютно по количеству воды, ими вмещаемой (на чем и основан вышеприведенный расчет), и в то же время выражены в числе кубических дюймов. Это двойственное определение одних и тех же величин, очевидно, не может быть сохранено. Выражение объема весовым количеством воды, как наиболее точное, одно должно быть удержано.

М. Ф.
УПРАВЛЯЮЩИЙ
ГЛАВНОЮ ПАЛАТОЮ
МЕР И ВЕСОВ
20 февраля 1898 г.
№ 31

Центральный Государственный исторический архив в Ленинграде, ф. 28, оп. 1, дело 220, л.л. 2—3.

Его превосходительству В. М. Верховскому

Милостивый государь,

Владимир Михайлович!

По отношению к введению в России метрической системы могу сообщить вашему превосходительству следующее положение дела:

Мысль эта родилась давно, Россия принимает с 70-х годов участие в Международном метрическом комитете (в Париже), представителями были сперва Струве и Якоби, потом акад. Вильд, ныне я имею честь быть членом постоянной Комиссии, действующей на основании трактата, по которому Россия участвует и в международных расходах по этому Комитету.

Когда (1893) утверждалась Главная палата мер и весов и я был призван к ее организации, поручено было возобновить русские прототипы, между прочим для того, чтобы при сем установить *точный* переход от русских мер к метрическим. Это дело закончено по существу. Идет печатание отчета.

В прошлом 1897 г. составлен был проект новых узаконений о мерах и весах в России. Проект составлялся в заседаниях с представителями разных ведомств и, обсудив вопрос о введении метрической системы, решили на первый раз только допустить факультативное (по закону) применение метрических единиц, чего до сих пор в законе нет. В заседаниях выяснилось при этом, что о более широком приложении метрической системы нельзя думать до тех пор,

пока не будут устроены и хорошо организованы местные поверочные учреждения. Проект закона составлен вполне весной 1897 г. Запрос ведомств отчасти произведен, но этот проект (о возобновленных прототипах, о факультативном введении метрической системы и, главное, о местных поверочных учреждениях) еще находится в делах Министерства финансов, и когда будет окончание, т. е. внесение в Государственный совет и прочее, и какое будет окончание, я, конечно, не знаю.

Будучи поклонником мнения о пользе метрической системы, я, однако, считаю, что немедленное введение ее обязательности было бы прямо вредно успеху дела. Свое на то время придет, и надо думать скоро.

Сообщив все существенное, прошу ваше превосходительство не передавать этого газетной гласности* и принять уверение в совершенном почтении и готовности к услугам.

Д. Менделеев.

---

* Впоследствии Д. И. Менделеев высказывал открыто свое мнение о введении метрической системы в России и о необходимых для этого условиях. См., также стр. 325. [*Прим. ред.*].

Центральный Государственный исторический архив в Ленинграде, ф. 28, оп. 1, дело 230, л.л. 2—3.

20 мая 1898 г.
№ 89

Его превосходительству В. И. Ковалевскому

Милостивый государь,

Владимир Иванович!

На письмо вашего превосходительства от 19 мая 1898 г. за № 13309 (с приложениями, кои при сем возвращаются), по вопросу о созыве в Париже в 1900 г. международного конгресса по вопросу о децимальном делении времени и окружности, имею честь высказать мое мнение.

1) Обсуждение на международном конгрессе вышеуказанного вопроса, возбужденного французскими учеными и правительством, мне кажется, должно встретить дружественное содействие со стороны России, т. е., мне кажется, что следует отвечать полным согласием на обсуждение указанного вопроса в международном конгрессе.

2) По существу дела полного сочувствия заслуживают четыре предложения, не нарушающие существа современно принятого деления времени и окружности и их улучшения и упрощения, а именно: во-первых, сохранить деление суток на 24 часа; во-вторых, считать сутки не двукратно по 12 часов, а целостью по 24 часа; в-третьих, подразделять часы не на минуты и секунды, а десятично: на десятые, сотые и так далее части часа (что уже принято на практике у нас в Главной палате мер и весов для некоторых означений), и, в-четвертых, делить градусы окружности также по десятичной системе, а не на 60-ые доли. Но и при этих упрощениях явятся многие затруднения, достойные ближайшего обсуждения на международном конгрессе.

3) Что же касается до деления круга или окружности не на 360 градусов, а на 400, как вновь предлагает французское совещание, то, мне кажется, выгод в нем меньше, чем недостатков.

Во всяком случае, и сей последний вопрос, по моему мнению, достоин подробного обсуждения на международном конгрессе.

Прошу ваше превосходительство принять уверение в совершенном почтении и готовности к услугам.

19 мая 1898 г. *Д. Менделеев.*

Русское астрономическое общество. Постановления Комиссии по вопросу о реформе календаря в России. Приложение VI, стр. 51—54.

ЗАЯВЛЕНИЕ О РЕФОРМЕ КАЛЕНДАРЯ*

Так как счет времени отныне (с 1 января 1900 г.) узаконен по ст. 5 высочайше утвержденного в 4-й день июня 1899 г. «Положения о мерах и весах», которая гласит: «За основную единицу времени принимаются сутки в двадцать четыре часа, по среднему солнечному времени. Час подразделяется на 60 минут; минута — на 60 секунд. Счет часов в С.-Петербурге определяется по данным Николаевской Главной астрономической обсерватории (Пулково); в прочих местах — в зависимости от географической долготы», то «средние» солнечные сутки составляют первую и единственную, пока, величину, из которой нам можно и должно исходить.

Календарь, поэтому, должен быть сведен на счет суток. Их подразделение на части узаконено (часы, минуты и секунды), но закон не устанавливает ни одного вида совокупности суток, ни начальной точки для их счета. Поэтому предметом обсуждения могут служить только эти два календарных соображения. По отношению к ним имею честь сообщить свое мнение.

Счет совокупности суток. Теперь (22 ноября 1899 г. по юлианскому стилю) протекло от начала эры:

$$(365.8 \times 1898 + \frac{1896}{4} + 325) \text{ дней} + \text{столько-то часов} = 693569 + \text{столько-то часов}$$

счет протекших простых годов	счет високосов	прошло от начала года

---

* Сделано на заседании Комиссии по вопросу о реформе календаря при Русском астрономическом обществе 22 ноября 1899 г. [*Прим. Ред.*].

от условного начала эры (о котором речь далее). Такой счет по его сложности на практике неудобен, хотя есть единственное твердое начало всякого календарного счисления. Поэтому люди считают недели, месяцы и годы. Две первых совокупности дней совершенно условны. Из них — неделя в 7 дней признана почти всюду не только христианскими народами, но и большинством иноверных. Трогать ее — я не вижу никакого повода, — это дело обычая и ведет начало не только от седмицы творения, но отчасти и от легкости счета малых чисел — до 7. Притом недельный счет связан так тесно со всею духовною и практическою жизнью, что трогать его было бы безрассудно. Сверх того недельная единица прямо не касается счета дней от начала эры, показывая, что 1-е число 1-го года падает на субботу.

Деление же на месяцы, во-первых, тесно связано с делением числа дней на годы, во-вторых, настолько условно и разнообразно у народов в разные века истории, что всякие изменения, здесь возможные, не могут служить к коренному улучшению в календарном счислении.

Иное дело — счисление годов (и их совокупностей в столетия).

Год определяет оборот или период практической жизни людей, и все люди считают, кроме дней, — годы. Притом самое понятие *о средних солнечных сутках* включает в себя представление о годах, ибо длительность реальных суток периодически изменяется в течение года, а потому, говоря «о средних солнечных сутках», в сущности уже говорят о годах, а длинная полярная ночь это иллюстрирует с очевидностью. Дело нашей Комиссии состоит, поэтому, прежде всего в установлении совершенно строгого соответствия между годами и числом в них средних солнечных суток. Длину же года нельзя «астрономически» считать иною, чем длину «тропического» года или промежуток времени между двумя прохождениями солнца чрез одну и ту же точку равноденствия. А так как солнце и вся система планет, следовательно и Земля, движутся в небесном пространстве среди звезд, то физически Земля не возвращается никогда на то же место. По этому уже одному отъявленные рационалисты, вроде революционеров конца XVIII в. и диалектиков, могут представлять свои возражения даже противу какой-либо постоянной длины года. Но учение об устойчивости подвижного равновесия, господствующего в движении солнечной системы, выработанность

понятий о пределах точности всяких наблюдений и совокупность астрономических определений — позволяют принять, признавая вековые неравенства длины года, что в текущие века средняя длительность тропического года равняется

$$365.24219 \pm 0.00001 \text{ средних солнечных суток.} \qquad (A)$$

Нам следовало бы собрать и публиковать: 1) все основные наблюдения, утверждающие эти (или еще более точные) числа, и 2) взвесить и обсудить величины вековых изменений в основном числе дней года, так как от этих чисел многое зависит в календаре. Но, пока, пойдем далее.

Исходя из указанной (А) длины года, число дней (см. начало записки) — можно свести на число лет. При установке юлианского стиля, год признан, принимая високосы, равным

$$365.25 \text{ средних солнечных суток.} \qquad (B)$$

Ошибка[1] стиля тогда очевидна и равняется к 1900 г.

$$-1900\,(0.00781 \pm 0.00001) = 14.839 \pm 0.019 \text{ средних суток.}$$

Следовательно, поправка юлианского стиля[2] ныне более $+14$ дней, а в 1920 г. достигнет (принимая во внимание погрешность наблюдений) 15 дней.

Григорианский календарь устанавливает среднюю длину года равною

$$365.2425 \text{ средних солнечных дней.} \qquad (C)$$

Для него погрешность также очевидна. Если бы даже начало счета было принято верное, то к 1900 г. погрешность стиля равнялась бы $-1900\,(0.00031 \pm 0.00001) = -0.589 \pm 0.019$ средних солнечных суток. Но при введении этого григорианского стиля (в 1582 г.) сделана была погрешность в счете начала (определившаяся как недостаточною точностью сведений об истинной длине года, так и поправкою лишь со времени Никейского собора), а именно: в 1582 г. ошибка юлианского (прежнего для Западной Европы) стиля от истинного счета лет равнялась $-0.00781 \times 1582 = -12.355$ суток, а папа Григорий XIII ввел поправку всего на 10 дней, т. е. умножил недоразумения разного

[1] Т. е. разность (А — В) на число лет.
[2] Т. е. (В — А) на число лет.

рода, и вопросы календаря усложнились, а не упростились, если в счете лет исходить от Рождества Христова.

Если для счета годов мы примем, исходя из наиболее древнего между обдуманными стилями — юлианского, прием, предложенный Медлером и нашим большинством принятый (считать високосы, как в юлианском стиле, но чрез 128 лет один високос не считать), то средняя длина года признается:

365.2421875 средних солнечных суток. (D)

Тогда погрешность к 1900 г. будет

$$1900(0.0000025 \pm 0.00001) = 0.00475 \pm$$

$$\pm 0.019 \text{ средних солнечных суток,}$$

т. е. поправка будет меньше возможной погрешности основного числа, или поправки никакой не будет вовсе.

Поэтому лучше всего остановиться на поправке, принятой нашим большинством и данной первоначально Медлером.

Итак, по мнению моему, в отношении к счету совокупности суток желательно принять два исходные решения:

1) счет недель, или седмиц удержать — как очень простой и чрезвычайно широко применяемый одинаково на Западе, как и на Востоке;

2) счет годов признать юлианский с поправкою — пропуском високосов чрез каждые 128 лет.

Есть одна мнемоническая выгода в последнем условии, потому что 128 равно двум в седьмой степени ($2^7 = 128$), и число 7 входит таким образом как в счет седмицы, так и в счет годов.

Счет по месяцам, по моему крайнему разумению, мало рационален, но затруднений в практике не представляет и принят одинаково последователями юлианского и григорианского летосчислений (т. е. в нем есть желаемое объединение), а потому его едва ли следует касаться. Но вопрос этот я, с своей стороны, считаю пока открытым, только думаю, что эту сторону дела полезно ныне оставить до будущих времен, упорядочив главное, т. е. отношение между годами и сутками.

Исходная или начальная точка для счисления дней и годов представляется делом чрезвычайной трудности, хотя весь образованный и христианский мир согла-

сился считать *Рождество Христово* исходом для своего счета времени. Истинный год рождения Христа, как доказывают хронологи и богословы, — сомнителен, и возможно ныне сказать только то, что год Рождества Христова близок к началу общепринятого христианами летосчисления. Поправить, если есть здесь какая-либо ошибка, сделанная в первые века христианства, ныне невозможно — за недостатком каких бы то ни было точных данных, как объяснил нам подробно проф. В. В. Болотов, что, по моему мнению, заставляет нас просить нашего ученого сочлена резюмировать существующий ныне запас сведений в этом отношении, оставив его в назидание тем, кто стал бы заниматься сим предметом в будущее время.

Если же истинный год Рождества Христова не достоверно известен, а только условно фиксирован в первые века христианства, и это фиктивное допущение принято издавна, то нет никакой надобности на место одной фикции ставить какую-либо другую — новую. Поэтому начало счета годов от Рождества Христова, по моему мнению, трогать не следует.

Что касается до исходного дня в начале эры, то и тут, я полагаю, лучше сохранить существующее положение вещей, т. е. считать начало года с того дня (1 января), когда церковь памятует обрезание Христа, ибо это есть, в своем роде, день духовного рождения Христа и конец Ветхих веков. Нуль времени — при счете времен от Рождества Христова — падает тогда на полночь или полдень 1 января 1 года.[1]

Если принять этот исход, т. е. в нем ничего не изменять против юлианского и григорианского допущений, а признать 128-летнюю поправку високосов, тогда:

1) получится действительно новый — русский стиль;

2) придется поправить юлианский стиль на 14 дней, а григорианский — на 1 день к 1 января 1900 г.;

3) для поправки юлианского стиля получится до 1920 г. та выгода, что прибавлено будет сразу 2 недели, а это представляет некоторые удобства мнемонического свойства, ибо опять взойдут числа 2 и 7, как в число 128.

Если западноевропейцы откажутся последовать (чего я не думаю) ныне за новым (русским) стилем, то мы будем

---

[1] Полагаю, что нулевого *года* или нулевого *дня* считать не должно, нулевым или исходным может быть лишь момент, и всякий счет дней или годов должен начинаться с единицы, а не с нуля.

и ближе их к истине и впереди их одним днем на некоторое число столетий — пока они не сравняются с нами. А тогда они примут наш — верный стиль.

Но здесь присоединяется вопрос о перемене счета дней с долготами мест, что не стану разбирать, но что следует, мне кажется, обсудить в Комиссии подробно.

22 ноября 1899 г. *Д. Менделеев.*

Главная палата мер и весов. Дело № 14, ч. I, «О необходимости возобновления образцовых единиц веса в России» (21 XII 1892 — 12 XI 1899), л.л. 13—27.

14 августа 1899 г.
№ 224

Его превосходительству В. И. Ковалевскому

Милостивый государь,

Владимир Иванович!

В пятницу, 13 августа сего года, при докладе его высокопревосходительству Сергею Юльевичу о своей поездке на Урал, я упомянул о том, что для успешной организации многих новых дел в Главной палате очень важно выполнить уже обещанное здание для служащих, вновь поступающих в наше учреждение, и притом единовременно с построением машинного здания, так как период стройки может задержать правильное течение наблюдений в главном здании Палаты. Сергей Юльевич изволил сказать, что сумму, потребную на выполнение постройки, следует включить в смету предстоящего 1900 г., о чем я и спешу известить ваше превосходительство, присоединяя к сему, во-первых, необходимые объяснения по отношению к размеру сметных требований по постройке, предстоящей в Палате на 1900 г., и, во-вторых, изложение дополнительных строительных надобностей нашего учреждения, о чем словесно я уже имел честь Вам докладывать.

По представлению моему от 15 апреля 1898 г., 2-этажное машинное здание, настоятельно необходимое для Главной палаты, предполагалось построить за 25 тыс. руб., а по представлению моему от 21 октября 1898 г. на постройку жилого дома для служащих Палаты я испрашивал 65 тыс. руб. В размере таких назначений академик архитектуры А. И. фон-Гоген составил по справочным ценам ныне весною соответственные планы и сметы на оба здания, предполагая построить оные без кровель с плоским цементным покрытием вместо оных, как это практикуется давно за границею. Общая сумма сметы на оба здания вышла равною 92 464 руб. 76 коп., вместо испрошенных мною 25 + 65 = 90 тыс. руб.

В этом виде смета была представлена в Департамент, Вами управляемый, и передана в Техническо-строительный комитет. Это учреждение не утвердило сметы, главным образом, по двум причинам:

1) здания без кровель сочтены не соответствующими климату С.-Петербурга, а потому требуется для обоих зданий ввести в смету кровли, и

2) цены на материалы и работы поставлены ниже, чем существующие ныне в С.-Петербурге. По отношению к сему последнему обстоятельству считаю должным присовокупить, что мои начальные соображения относятся к году предшествующему, когда цены на материалы и работы были ниже современных, и я просил г-на архитектора принять это в соображение. Ныне же и, по всем вероятиям, для следующего года, действительно должно те цены увеличить. По отношению же до кровель, хотя я лично считаю возможным и более экономичным обойтись без оных, имея цементное перекрытие со слабым стоком, как проектировано, но считаю невозможным вступать в прекекания, а потому полагаю необходимым дополнить проекты обоих зданий, считая на оных крыши. Но так как оба предположенных здания должны помещаться в непосредственной близости к самой Главной палате (построенной из негорючих материалов), то обе кровли должны быть проектированы на железных стропилах, так как и все главные части предполагаемых построек (балки и потолки) проектированы негорючие (из железа, кирпича и цемента).

Ввиду двух вышеуказанных, вновь являющихся, соображений, начальная смета на оба здания ($25 + 65 = 90$ тыс. руб.), очевидно; оказывается недостаточною. По собранным справкам, оказалось, что сверх испрошенных кредитов следует просить на машинное здание добавочных 12 тыс. руб., а на жилое здание — около 15 тыс. руб. Это составит в сумме 27 тыс. руб. Но здесь является следующее затруднение: в постановлении Государственного совета, высочайше утвержденном 4 июня 1899 г., принимая во внимание, что на машинное здание испрашивалось 25 тыс. руб. и что в счет этой суммы пошли 10 тыс. руб., отпущенные по высочайшему повелению 15 января 1899 г., предположено на 1900 г. к отпуску лишь 15 тыс. руб. (отд. IX, п. «в»). Присоединить к ним еще 12 тыс. руб., требующиеся на сие здание, я считаю малоудобным, а потому полагаю, что всю вышеозначенную сумму в 27 тыс. руб. следовало бы разделить в смете на 1900 г. так: в смете жилого дома, вместо

предполагавшихся 65 тыс. руб., прямо означить 80 тыс. руб., каковая сумма оказывается в действительности на него потребною по соображению возвышения цен и постройки негорючей кровли, сумму же в 12 тыс. руб., необходимую для возможности устройства машинного здания (сверх 10 тыс. руб., уже отпущенных, и 15 тыс. руб., разрешенных Государственным советом), мне кажется более целесообразным отнести к тому дополнительному сметному назначению, о котором говорится вслед за сим.

Комиссия 1898 г., обсуждавшая разные стороны хлебной торговли, под председательством вашего превосходительства, предъявила требование об упорядочении способов оценки достоинства разных хлебов, особенно при отправке за границу и для большой торговли ими в самой стране, преимущественно для больших мукомолен. Известно, что пурки (или хлебные весы) для сей цели недостаточны, а потому намечалось вашим превосходительством организовать при Главной палате такое добавочное учреждение, которое занималось бы исследованиями для установки доныне не существующих точных способов оценки хлебов по их оставу и свойствам. Считая, со своей стороны, такой предмет исследований представляющим великий научный и практический интерес, я выставил на вид то обстоятельство, что правительство С.-А. С. Штатов учредило особые обширные центральные лаборатории именно для научных исследований, касающихся питательных веществ и лесных товаров, и что России необходимо не отстать в этом отношении, если у нас и поныне *хлеб* и *лес* составляют одни из крупнейших предметов торговых (внутренних и внешних) оборотов. Господин министр финансов, когда однажды я докладывал ему о сем предмете, приказал передать вашему превосходительству, что о том должно своевременно составить надлежащие соображения. Не входя здесь в полное обсуждение предмета, я полагаю, что с помощью надлежащих, хотя и ограниченных средств (а именно на 5 или 6 исследователей около 10 тыс. руб. и по $2^1/_2$ тыс. руб. в год на служителей, приборы и отопление, т. е. в сумме около 13 тыс. руб. в год), ежегодно отпускаемых на сей предмет, можно было бы организовать при Главной палате научное исследование хлебов и леса, если бы была при ней устроена соответственная лаборатория. А так как в главном здании Палаты нет места для такой лаборатории, лаборатория же при Палате и помимо исследования хлеба и леса была бы очень полезна, то, по

моему мнению, производя в 1900 г. стройку при Палате, было бы очень своевременным отпустить ей средства на ее постройку, в виде отдельного этажа машинного здания. Оно проектировано в 2 этажа, но его легко можно сделать и 3-этажным, поместив в верхнем этаже лабораторию. Возвести этот этаж впоследствии не только нежелательно, ради того, что строительные работы мешают измерениям, но и затруднительно, так как нижнему этажу многоэтажного здания должно придать бо́льшую крепость, чем проектированному 2-этажному. Постройка 3-го этажа для лаборатории должна увеличить стоимость машинного дома примерно на 15 тыс. руб., а принимая во внимание специальные печи, необходимые в лаборатории, и ее вентиляцию, на 18 тыс. руб. Если такое предложение заслужит одобрения его высокопревосходительства Сергея Юльевича, то в смету 1900 г. может быть включена сумма эта (18 тыс. руб.) вместе с 12 тыс. руб., необходимыми для кровли здания и по поводу увеличения цены материалов.

Считаю при сем долгом обратить внимание вашего превосходительства на то обстоятельство, что по высочайше утвержденному мнению Государственного совета (отд. VI) министру финансов предоставлено установить правила: «а) о способе продажи зернового хлеба, б) о применении в торговых сделках пурки и других приборов, определяющих вес данного объема зерновых продуктов», а потому устройство особой лаборатории для исследования хлеба при Главной палате, ведающей и установлением пурки (ст. 16, п. 7), едва ли может быть не одобрено Государственным советом. Что же касается до исследования лесных материалов, то недавняя моя поездка на Урал и исследование над деревами, произведенное в американской лаборатории, дали мне множество случаев убедиться в недостаточности существующих сведений о лесных материалах, их свойствах и наилучшем применении.

Сверх вышеизложенного считаю своевременным ходатайствовать о включении в смету будущего года суммы, необходимой для устройства при Главной палате небольшой астрономической обсерватории. Ее необходимость обусловливается постоянною надобностью в точной установке времени, что может достигаться только с помощью астрономических наблюдений. Ныне, когда по новому Положению о мерах и весах не только определение времени вошло в самое понятие о точных измерениях (ст. 5), но явилась надобность в других специальных измерениях (ст. 16, п. 7),

требующих точного знания времени, а ведение всею технической стороною дела возложено на Главную палату, при ней необходимо иметь астрономические приборы, потребные для определения времени, и место для наблюдений оными, т. е. свою небольшую обсерваторию. Что касается до приборов, то часть их может быть постепенно приобретена на средства, ассигнованные для сей цели по новому штату, другая же часть уже приобретена на средства, отпущенные для предполагавшейся научной экспедиции ледокола «Ермак», но небольшая обсерватория неизбежно нужна. Она ранее не предвидена, потому что все статьи и проекты Положения о мерах и весах, касающиеся времени и специальных приборов, не были ранее высочайше утверждены, и до тех пор, пока не состоялось утверждение, нельзя было упоминать о надобности, ныне явно ощущаемой.

Что касается до сооружения обсерватории, как сказано выше, желательно закончить необходимые стройки разом, чтобы не нарушать правильный ход измерений в Главной палате, а потому ныне, когда должны быть в 1900 г. возводимы при ней два новых здания (машинное здание и жилой дом), желательно устроить разом и обсерваторию, поверх одного из указанных выше зданий. Это не только представит возможность производить должное наблюдение поверх крыш соседних зданий, но и позволит значительно сократить расходы, необходимые на устройство самой обсерватории, хотя требует решения непременно заранее, при составлении проектов зданий, так как иначе надстроить обсерваторию было бы невозможно, и для нее надобно усилить некоторые стены и в них избежать дымовых труб. Сама надстройка будки для обсерватории не может обойтись более 10 тыс. руб., но так как необходима в ней подвижная (вращающаяся) железная куполообразная кровля с люком и в жилом здании должно усилить толщину одной или двух стен, то всю ценность обсерватории нельзя считать менее 16 тыс. руб.

Таким образом, имею честь просить ходатайства вашего превосходительства о включении в смету на 1900 г. следующих статей (кроме тех, которые указаны в мнении Государственного совета):

1) на надстройку над машинным зданием 3-го этажа для лаборатории, назначенной для изучения способов суждения о достоинстве хлебных зерен и для исследования дерева,

а также на возведение на железных стропилах кровли над сим зданием — 30 тыс. руб.,[1]

2) на здание для жительства четырех старших и четырех младших инспекторов Главной палаты и астрономической (над ними) обсерватории — 96 тыс. руб.

Итого 126 тыс. руб.

Если потребуется особая, более подробная мотивировка каждого из сих предположений, то я буду иметь честь немедленно представить ее на усмотрение вашего превосходительства и при сем прошу указать, должно ли повторить все соображения, изложенные мною ранее в вышеупомянутых письмах к Вам.

Прошу ваше превосходительство принять уверение в совершенном почтении и готовности к услугам.

Д. Менделеев.

[1] Выше было упомянуто именно сначала о 12 тыс. руб. на материалы и кровлю, а затем 18 тыс. руб. на этаж для лаборатории.

Главная палата мер и весов. Дело № 14 «О необходимости возобновления образцовых единиц веса в России» (21 XII 1892—12 XI 1899), л. л. 1—13.

22 февраля 1901 г.
№ 146

Его превосходительству В. И. Ковалевскому

Милостивый государь,
высокоуважаемый
Владимир Иванович!

С началом развития местных поверочных палаток, для которых требуется не только выверка в Главной палате всех измерительных приборов, но и подготовка поверителей (они держат у нас испытания и занимаются практикою измерений под руководством инспекторов), а вместе с тем с увеличением числа электрических и обычных измерительных приборов (мер длины, веса, объемов и температур), выверяемых уже в Главной палате, необходимо было, на основании ст. 16, п. 7 «Положения о мерах и весах», устраивать специальные приспособления и помещения для выверки водомеров, фотометров, манометров, анероидов, волчков и т. п. При начатой установке приспособлений, необходимых для упомянутых новых видов выверки, встретилось уже немало затруднений в удобном размещении приборов, которым необходимо было дать достаточный простор, а ныне, когда еще многое из указанного в законе еще не осуществлялось, уже все помещения не только обоих главных этажей, но и часть подвального этажа (где ныне живут служителя и находятся мастерские) заняты под те или иные настоятельные работы; впереди же предвидится еще много новых устройств и надобность в расширении отведенных мест, когда будут доставляться со стороны выверяемые приборы. Нашу тесноту ваше превосходительство сами изволили недавно видеть, посетив некоторые специальные лаборатории Главной палаты.

К этой вновь народившейся потребности в расширении помещения Главной палаты должно присоединить две дру-

гих, о которых я имел честь заявлять в своих прежних представлениях, уваженных его высокопревосходительством Сергеем Юльевичем, а именно: 1) необходимо помещение для машин и расширенного нового компаратора в виде «машинного» дома, на что отпущено уже 25 тыс. руб. и разрешено Государственным советом (но в сметы еще не дошло) 20 тыс. руб., всего 45 тыс. руб., и 2) необходим второй жилой дом для инспекторов, служащих в Главной палате, так как им ныне и впредь предстоит множество чисто научных занятий в специальных лабораториях, для чего очень часто требуется производить работы вечером и даже ночью, чтобы достичь полного покоя, которого при тесноте помещения днем совершенно невозможно иметь.

Осмеливаюсь при этом напомнить, во-первых, что высочайшим повелением, состоявшимся в 15-й день января 1899 г., уже предписано озаботиться о постройке не только машинного дома, но и 2-го жилого дома для служащих, и, во-вторых, что, согласно с моим представлением от 28 февраля минувшего года за № 126, постройку обоих домов (машинного и жилого), ради технических удобств измерительных работ Главной палаты, предположено произвести вместе, а начать выполнение было доныне нельзя по причине неоконченности ассигнований потребных для того сумм.[1]

Из предшествующего вашепревосходительство усмотрите, что мне, в качестве управляющего вновь организуемого учреждения, обязанности которого указаны в законе, необходимо должно неустанно беспокоить Вас и Сергея Юльевича по отношению к расширению места, требующегося для выполнения всех тех функций, которые поручены Главной палате, долженствующей развиваться в предначертанном направлении. Но я очень ясно понимаю, что Министерству финансов, ввиду множества срочных государственных потребностей, затруднительно быстро увеличивать ассигновки для надобностей мер и весов, так как доходы, могущие предстоять от сбора за выверку, не могут сразу покрывать делаемых затрат, а потому осмеливаюсь указать на возможность избежать новых затрат, удовлетворяя вышеуказанные требования центрального учреждения для выверки мер и весов. Возможность эта содержит немало условного, но я

---

[1] Из 45 000 руб. для машинного дома ассигновано лишь 25 000 руб., а об 81 000 руб. на жилой дом представление задержано, ввиду событий лета 1900 г.* (высочайшее повеление от 1 июня 1900 г.).

* Вероятно, — события в Китае. [*Прим. ред.*].

считаю долгом сообщить о ней вашему превосходительству, так как ее осуществление представляется мне имеющим многоразличные выгоды.

Основанием дела служит возможность расширить помещение Главной палаты на счет тех зданий, которые, находясь в одном дворе с помещением Главной палаты, заняты ныне Техническим комитетом Главного управления неокладных сборов и казенной продажи питей и мастерскими при оном. Мне стало известным, что во вновь устраиваемом здании для надобностей Главного управления предполагается сосредоточить главные части оного и перевести туда, в том числе, и Технический комитет, что представляет несомненные выгоды в отношении единства управления этою частью Министерства финансов. Если же Технический комитет будет переведен в другое помещение, тогда освобожденные им здания (числом три: главный дом — трехъэтажный лицевой, одноэтажный дом для выверки приборов — во дворе и надворный дом одноэтажный для мастерских), после надлежащего приспособления для надобностей Главной палаты [1] могли бы послужить: а) для помещения машин и компаратора, необходимых Главной палате, б) для расширения всех других помещений этого учреждения, о чем упомянуто в начале сего письма, и в) для жилья инспекторов Главной палаты — без новых крупных строительных расходов, т. е. с соблюдением всей возможной экономии при выполнении задач, возложенных на Главную палату. Но, кроме этого основного соображения, есть еще много других, которые осмелюсь изложить с возможной краткостью:

1) Главная палата мер и весов как учреждение у нас еще очень новое, судя по имеющимся за границей примерам (особенно в Берлине), неизбежно должна и впредь расширять свою деятельность и для этого возводить постройки, так как область приборов, подлежащих обязательной выверке, ежегодно всюду расширяется. Поэтому место, отделенное ныне для Главной палаты, наверное, в близком будущем окажется недостаточным, а с присоединением места, занятого ныне Техническим комитетом, останется довольно свободного пространства еще для трех или четырех новых зданий, и, кроме того, одноэтажные надворные дома Технического комитета могут быть надстроены.

---

[1] Для такого приспособления, без сомнения, было бы достаточно вышеупомянутых, уже разрешенных, 45 000 руб., которые назначаются для сооружения «машинного» дома при Главной палате.

2) Помещаясь в одном дворе с Техническим комитетом, Главная палата доныне не имела никаких недоразумений, возбуждаемых условиями представляющихся работ и новых сооружений, но впереди, когда тому и другому учреждению необходимо надо будет расширяться, могут встретиться разные столкновения интересов, что совершенно устранится, когда все казенное место, числящееся даже по городскому плану за одним номером, будет отдано одному управлению, а не двум, как ныне.

3) Когда в 60-х годах Министерство финансов получило от Константиновского военного училища означенное место и когда, в 70-х годах, оно построило центральное здание Главной палаты, единство управления существовало, и все помещения были в ведении Департамента торговли и мануфактур. Передача лицевого дома Департаменту неокладных сборов совершена лишь в 1884 г.,[1] но и то с тем, что ученый хранитель образцовых мер и весов (бывший мой предместник — покойный В. С. Глухов) жил в этом же здании, что прекращено лишь с 1892 г., когда я был назначен ученым хранителем образцовых мер и весов. Передача помещений, ныне занятых Техническим комитетом Главного управления неокладных сборов и казенной продажи питей, в ведение Главной палаты мер и весов — была бы поэтому лишь возвратом к начальному положению дел.

4) Возведение около центрального здания Главной палаты двух новых предположенных зданий (машинного и жилого дома), во всех отношениях ей необходимых, заставило бы приостановить на время стройки многие из поверочных работ, производимых в Палате, вследствие неизбежных при постройке сотрясений почвы, а такая приостановка измерительных работ задержала бы быстроту начального роста всей организации дел, возложенных на Главную палату, что я считал бы весьма прискорбным. Это неудобство совершенно устранится, если расширение Палаты произойдет на счет передачи ей домов Технического комитета, так как они могут потребовать лишь ряда незначительных переделок и они удалены от центрального здания Палаты гораздо далее, чем два предположенные к возведению здания, для которых нет иного места, как в расстоянии на 2—5 сажен от центрального здания Главной палаты.

---

[1] Копия с акта передачи приложена при этом письме, так как она сохранилась при делах Главной палаты.

Вы, Владимир Иванович, изволите знать, как близки мне интересы Главной палаты, и Вы видите, как соответствуют им выше предлагаемые меры. Не откажите же поэтому в Вашем заступничестве, если возможно осуществление этой комбинации, так как, помимо нее, я вижу чрезвычайные трудности в исполнении задач, возложенных на Главную палату, и буду неизбежно принужден просить не только об окончательной ассигновке средств на машинный и жилой дома, но и о назначении новых средств на постройку флигеля, добавочного к центральному зданию Главной палаты (на что потребуется не менее 75 тыс. руб.[1]), без чего скоро предвидится такая теснота, при которой с великим трудом установленные виды измерительных работ должны уже будут потерять в своем достоинстве, а допустить это вашему превосходительству, конечно, нежелательно, мне же лично просто немыслимо. Помещение центрального здания Главной палаты вначале казалось роскошным, потом достаточным, но ныне оно до того оказалось недостаточным, что мы принуждены уже занимать коридоры и подвал, вперед же двигаться некуда, а закон велит делать еще и еще, и делать надо каждый предмет с великою тщательностью, обеспечив местом и людьми. Относительно лиц ныне задержки нет, но в месте и просторе для дел и людей Главной палаты нужда так велика, что умалчивать о ней уже невозможно.

Прошу ваше превосходительство принять уверение в совершенном почтении и готовности к услугам.

Д. Менделеев.

---

[1] Приложив сумму на жилой дом (81 тыс. руб.), получим для осуществления предлагаемой передачи зданий Технического комитета экономии более 150 тыс. руб., дав в то же время Главной палате возможность выполнить требования, указанные в законе.

ГЛАВНАЯ ПАЛАТА
МЕР И ВЕСОВ

ПРЕДПОЛОЖЕНИЯ ПО ПРЕДМЕТУ ДАЛЬНЕЙШЕГО (С 1902 г.) УСТРОЙСТВА И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ИМПЕРИИ МЕСТНЫХ ПОВЕРОЧНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ И ПОТРЕБНЫХ ДЛЯ СЕГО КРЕДИТАХ *

(Высочайше утвержденное 4-го июня 1899 г. мнение Государственного совета, отдел II)

Докладная записка его превосходительству г-ну товарищу министра финансов, Владимиру Ивановичу Ковалевскому, Управляющего Главною палатою мер и весов

Д. Менделеева

По высочайше утвержденному 4 июня 1899 г. мнению (отд. II) Государственного совета, ко времени рассмотрения сметы на 1902 г., его высокопревосходительство г. министр финансов должен представить свои предположения о дальнейшем распространении в империи местных поверочных учреждений для мер и весов, а потому имею честь ныне же, заблаговременно, сообщить свои соображения, относящиеся к сему предмету, о чем я уже имел честь в общих чертах докладывать его высокопревосходительству Сергею Юльевичу Витте (22 марта 1901 г.), который приказал изложить оные и передать вашему превосходительству.

I. Изложение сущности предстоящих вопросов по указанию опыта 1900 и 1901 гг.

Устройство первых поверочных палаток прежде всего показало необходимость предварительного и подробного изучения на месте всех частностей и особенностей, относящихся к каждому из тех мест, в которых предположено открыть палатки; особенно же необходимы сведения об ор-

---

* Отдельный печатный оттиск. СПб., 1901 г. [*Прим. ред.*].

ганизации учреждений, желающих и могущих устроить у себя палатки, и о мастерских, в которых производятся торговые меры и весы, так как в этих двух отношениях в разных частях и местностях империи условия очень разнообразны. Такое изучение производится при помощи командирования инспекторов Главной палаты. Но так как их число по штату доныне ограничено 10 (5 старших и 5 младших) и так как те же инспекторы (при содействии лаборантов) в самой Главной палате должны устраивать множество вновь устанавливаемых исследований и измерений (электрических, термометрических, манометрических и т. п.; ст. 16, п. 7), а сверх того производить внезапные ревизии, составлять отчеты по командировкам и по возобновлению и установке прототипов и производить испытание и подготовку местных поверителей, то число ежегодно вновь учреждаемых местных поверочных палаток должно быть сообразовано со штатом Главной палаты. Наибольшим предельным числом, судя по опыту, я считаю учреждение в год 15 новых палаток с их отделениями. Это тем более справедливо, что в новом деле устройства местных поверочных палаток необходимо, вскоре после учреждения, посылать в каждую палатку инспектора для разрешения Главною палатою постоянно встречающихся затруднений и препятствий разного рода, а в то же время инспекторам необходимо продолжительно оставаться и при самой Главной палате как для выверок соответственных приборов, так и для выполнения других сложных обязанностей по самой Главной палате. Притом заказ, прием и выверка всех мер и весов, отправляемых в местные поверочные палатки, занимают не только много времени, но и требуют столь много места, что не только ныне, но и при предполагаемом далее (стр. 804) расширении помещения Главной палаты, за текущими другими работами, невозможно в год выверить более, чем полный комплект 15 палаток с их временными отделениями.

Опыт действия первых местных палаток показал затем великую пользу от того, что поверители не только испытываются в Главной палате в своих знаниях, но и обучаются всем приемам, необходимым для скорости и точности выверки. Доныне эти испытания производились лишь в самой Главной палате, но впоследствии, когда будут учреждаться палатки в отдаленных краях России, нельзя требовать, чтобы все кандидаты на должность поверителей приезжали в Петербург, а потому в соответственных случаях придется производить испытания при местных палатках чрез инспекторов,

при их командировании, а обучение — при ближайшей местной палатке, что я считаю необходимым ради того, чтобы не было задержки в устройстве новых палаток в отдаленных краях и в замещении в них открывающихся вакансий.

Далее, опыт первых палаток показал, что после двух-трех месяцев со времени их открытия дела в них идут с надлежащею успешностью, зависящею преимущественно от двух основных условий: от надлежащего выбора заведывающих палатками и поверителей (для сего все эти лица должны быть хорошо заранее известны Главной палате) и от неукоснительного следования указаниям (чрез циркуляры и личные сношения на местах) Главной палаты, на которую прямо возложены заботы об успехе всего дела. Успешность хода дела в устроенных местных палатках видна из прилагаемой ведомости о числе произведенных поверок и о сборах за оные (стр. 24).* Судя по результатам января, февраля и марта текущего 1901 г., видно, что 5 палаток, устроенных в 1900 г. с их отделениями, дают в месяц, в среднем, около 15 тыс. руб. сборов. Это составит в год на каждую палатку в среднем не менее 30 тыс. руб. прихода. А так как средний расход на содержание каждой палатки в год принят ныне в 10 тыс. руб., то устроенные в 1900 г. палатки оказались, как и можно было предвидеть при их учреждении, приносящими явный доход. При этом считаю долгом указать на два обстоятельства. Во-первых, труд поверителей, особенно в некоторых палатках, чересчур велик, и число в них поверителей необходимо увеличить (хотя бы временно), чтобы достичь и впредь надлежащего успеха. Но так как заранее, при назначении годового содержания на каждую палатку, нельзя точно предвидеть успешности поступления предметов для выверки и так как могут быть случаи внезапной прибыли или убыли в этом числе, то мне кажется, что на каждые 5 местных палаток, учрежденных в империи, полезно было бы назначить, по крайней мере, двух добавочных или запасных поверителей, состоящих при Главной палате, с тем, чтобы Палата, будучи осведомлена о крайней надобности, могла командировать этих запасных поверителей в те палатки, которые в них будут нуждаться, и при помощи их учреждать, где это окажется необходимым, временные отделения палаток, до устройства в тех местах, впоследствии, быть может,

* Стр. 24 и другие, на которые делаются ссылки в тексте, не воспроизводятся. [*Прим ред.*].

особых палаток. Так, уже ныне оказалось крайне необходимым немедленно устроить отделения в Нижнем-Новгороде и затем в г. Муроме. Палата это последнее выполнила, послав одного из своих лаборантов (г-на Адамовича) на отпускаемые ей средства. Но этим она лишила себя возможности своевременно закончить некоторые работы и могла это сделать в виде исключения, а надобности сего рода должны встречаться тем чаще, чем более будет развиваться местная выверка мер и весов, особенно периодическая. По этой причине я считаю необходимым иметь при Главной палате на каждые 5 палаток по 2 запасных (добавочных) поверителя, даже и тогда (примерно, около 10 лет), когда вся империя покроется сетью местных палаток. На содержание и командирование каждых двух запасных поверителей достаточно отпускать по $2^1/_2$ тыс. руб. в год, что составит на каждую палатку в среднем по 500 руб. в год.[1] Во-вторых, нельзя думать, что все вновь учреждаемые палатки впоследствии будут давать в год по 30 тыс. руб., расходуя по 10 тыс. руб., потому что будут края, в которых палатку — для производства срочных поверок — станет необходимым учредить, но предметов в них будет доставляться менее, чем в 5 первых устроенных палаток. Однако, если в Главной палате — после собрания местных сведений — будут надлежащим образом обсуждаться все условия для учреждения новой местной палатки и ее район, то можно, по моему мнению, сохраняя современную таксу сборов, достичь того, что каждая нормальная (т. е. получающая в год средним числом по 10 тыс. руб. содержания) палатка, расходуя, в среднем, по 10 тыс. руб. в год, даст валовой приход в 20 тыс. руб. Если будет устроено в империи 100 таких палаток, то они, при указанном расчете, дадут в год 2 млн руб. доходов, а сами будут стоить в год около 1 миллиона. Избыток в 1 миллион даст, во-первых, возможность погасить расходы на оборудование местных палаток и на самую Главную палату и учредить ряд бездоходных или даже убыточных палаток в отдаленных краях империи. Но и за таким вычетом, от сборов за выверку мер и весов останется, вероятно, некоторый избыток в доходы казны. Но он явится без отягощения жителей. Собранные сведения показали, действительно, что взимаемый ныне сбор за выверку мер и весов нигде, не только в столицах или Варшаве, даже в селе Павлове,

[1] Расход сей может войти в средний нормальный бюджет палаток, о коем говорится далее.

не считается отяготительным ни для производителей, ни для торговцев, потому что весь сбор, в сущности, ложится на такую отрасль народной деятельности, как торговля, где все основано преимущественно на доверии, а государственное клеймо на мерах и весах, несомненно, увеличивает это доверие, требуя сравнительно мелочной платы за его наложение. Поэтому, на основании собранных сведений, нет надобности в общем изменении ныне действующей таксы, хотя, как сказано далее, по указанию опыта, в таксе следовало бы сделать некоторые исправления. Иное дело — взнос денег за выверку. Его ныне необходимо производить в казначействах ранее представления предмета для выверки, а это, в иных случаях, очень тяжело и накладно, особенно там, где нет казначейств (поэтому в селе Павлове, где с самого начала устроена палатка, сборы вносятся, с разрешения г-на министра финансов, в волостное правление), и при повсеместном производстве периодической выверки будет встречаться очень часто. Поэтому, ныне же, в самом законе должно расширить условия возможности внесения сборов за выверку мер и весов.

Наконец, из существующего опыта очевидно, что заведывание местными палатками, ныне с административной стороны возложенное на Департамент торговли и мануфактур (ныне по Отделу торговли), а с технической — на Главную палату, должно быть сосредоточено в одном месте, так как даже при 5 местных палатках от этого раздвоения заведывания происходит множество неудобств и напрасной переписки, при умножении же числа палаток должно родиться вящее неудобство. А так как большинство вопросов, рождающихся в местных палатках, где нет штатных чинов, имеет технический характер и административный контроль в них производят вместе с техническим инспекторы Главной палаты, то казалось бы, что общее ведение местными палатками, при дальнейшем развитии дела, следовало бы сосредоточить в Главной палате, оставив Отделу торговли: заведывание общими делами, касающимися мер и весов, делопроизводство по утверждению мероприятий, относящихся к устройству местных поверочных палаток (ст. ст. 15, 19, 20, 21, 23 и 25) и отчетность по доходам, собираемым за поверку мер и весов. Вопрос этот представляется очень важным в отношении необходимости расширения канцелярий, занятых делами местных палаток. При современном ходе дел, когда число местных палаток умножится, необходимо было бы расширить канцелярии как при Отделе, так и при Главной

палате; если же все дела, касающиеся местных палаток, будут сосредоточены в Главной палате, казалось, можно было бы ограничиться расширением канцелярии преимущественно при Главной палате, о чем далее говорится подробнее.

II. Требование закона

По высочайше утвержденному 4 июня 1899 г. мнению Государственного совета, в течение 1901 г. (с тем, чтобы начать применение с января 1902 г.) Министерство финансов должно представить на усмотрение Государственного совета предположения, относящиеся до:

1) «дальнейшего устройства и распределения в империи местных поверочных учреждений» (отд. II);

2) «потребных для сего кредитов» (там же);

3) «изменений в размере установленных до января 1902 г. (отд. V) сборов за выверку и клеймение мер и весов, какие, по указанию опыта, окажутся необходимыми» (отд. VI, п. 4).

Но прежде чем приступить к изложению соображений, касающихся двух последних предметов, считаю, однако, долгом далее (стр. 801) предпослать несколько соображений, относящихся к несущественным, однако немаловажным изменениям, необходимым, на основании опыта, в статьях, относящихся до самой Главной палаты, если на нее будут возложены обязанности заведывания всеми местными поверочными палатками.

III. Устройство во всей империи местных поверочных учреждений

Для того чтобы начала, вложенные в «Положение о мерах и весах» 1899 г., оказали свое полное значение в деле упорядочения торговли, очевидно, необходимо учреждение повсеместной в империи выверки мер и весов, не только вновь поступающих в обращение, но и в нем находящихся (периодические поверки), для чего необходимо последовательно учреждать во всех губерниях и областях свои местные поверочные палатки (ст. 19) с соответственными, по мере надобности (ст. 24), временными отделениями. Так как в империи (без Финляндии) всего 90 губерний и областей, то наименьшее число местных палаток, казалось бы, должно быть близким к этому числу. Но так как, по производству новых мер и весов и по количеству их,

обращающихся в торговле, часть губерний, а именно, по крайней мере, 10, представляют исключительно важное значение и требуют, по крайней мере, двух палаток на губернию, *то основное число нормальных палаток должно считать не менее 100.* Определение района действий палаток, как указано в ст. 20, следует и впредь предоставить министру финансов, для чего основанием могут служить данные, собираемые при командировании инспекторов Главной палаты. Заранее очерчивать районы палаток, с своей стороны, считаю невозможным, если иметь в виду то основное требование, чтобы сборы за выверку, по возможности с избытком, покрывали все расходы, производимые для мер и весов во всей империи. Поэтому в густозаселенных и торговых губерниях могут потребоваться две, три и более палатки, а в отдаленных и редкозаселенных губерниях можно будет довольствоваться одною нормальною палаткою на две-три губернии, с устройством их отделений (ст. 24).

Но так как при осуществлении правильной периодической поверки мер и весов (чрез три года, ст. 45) и при возрастании торгово-промышленных оборотов в империи означенных 100 палаток может оказаться недостаточно, или палатки будут излишне обременены отдаленными командировками своих поверителей, то, сверх 100 нормальных палаток, мне кажется необходимым иметь возможность учреждения еще до 50 палаток уменьшенного размера. Число палаток (100 нормальных и 50 уменьшенных), по моему мнению, не следовало бы закреплять заранее, до указания действительности, но я буду далее говорить об упомянутом числе палаток для того, чтобы определить размеры расходов, необходимых для их содержания, когда вся империя будет охвачена районами палаток. Опыт показал, что для снабжения нормальных палаток приборами и соответственною мебелью необходимо в среднем не менее 3500 руб. на каждую, среднее же годовое содержание каждой такой палатки обходится в 10 000 руб. Что касается до палаток уменьшенного размера, то на их обзаводство нельзя считать менее 2500 руб., а на годовое содержание можно считать лишь по 5000 руб. Сверх этих расходов необходимо иметь в виду, что чрез 3—5 лет часть приборов, находящихся в постоянном употреблении, должна придти в негодность, и на ремонт или замену новыми приборами пойдет не менее 1000—1500 руб. Нельзя далее упустить из вида, что палатки постепенно должны снабжаться некоторыми новыми приборами (особенно приноровленными

к разъездам поверителей) и комплектом метрических мер, так что указанная сумма пойдет не только на ремонт и возобновление, но и на новые приборы. Поэтому в год на сей предмет необходимо отпускать, по крайней мере, по 400 руб. на каждую открытую палатку с тем, чтобы этот кредит (отпускаемый Главной палате) считался строительным и пользовался двухгодичным льготным сроком.

Что касается до скорости, с которою могут быть учреждены все вышеупомянутые 150 палаток, то она должна быть сообразована со средствами Главной палаты и с государственным бюджетом, могущим подлежать временным изменениям. Не входя в обсуждение сего последнего предмета, считаю долгом заявить, что Главная палата (ст. 18), при современном своем штате, не в силах оборудовать (произвести местную разведку, заказать, принять и выверить приборы, подготовить поверителей и т. п.) в год более 15 палаток, а именно 10 нормальных и 5 уменьшенного размера, а потому все 150 палаток или, точнее, полная сеть местной выверки по всей империи, при ассигновании надлежащих средств, могут быть устроены не скорее, чем в 10 лет. Если же в год будет учреждаться по 15 указанных палаток, то на их обзаводство и на их полугодовое (в год учреждения) содержание должно отпускаться в продолжение упомянутых 10 лет:

На оборудование 10 нормальных палаток по $3^1/_2$ тыс. руб.	35 тыс. руб.
На 5 уменьшенных палаток по $2^1/_2$ тыс. руб.	$12^1/_2$ » »
В год учреждения палаток на каждую должно положить полугодовое содержание, а именно, на нормальную по 5 тыс. руб., а на уменьшенную — по $2^1/_2$ тыс. руб.	$62^1/_2$ » »
Итого на 15 вновь учрежденных палаток	110 тыс. руб.

В дальнейшие годы на содержание этих 15 палаток пойдет:

По 10 тыс. руб. на 10 нормальных палаток	100 тыс. руб.
» 5 » » » 5 уменьшенных »	25 » »
» 400 руб. на ремонт приборов и на новые приборы	6 » »
Итого ежегодно на каждые 15 палаток	131 тыс. руб.

Судя по существующему опыту и по соображениям, изложенным мною в представлении от 16 апреля 1898 г., можно с уверенностью считать, что каждые 15 палаток в наибольшей части империи принесут в годы, следующие

за устройством, дохода не менее как по 15 тыс. руб.[1] в среднем, т. е. каждые 15 не менее 225 тыс. руб., что должно с некоторым избытком окупить не только содержание самих палаток, но и Главной палаты мер и весов.

Стараясь в соображениях о поступлении сборов за выверку мер и весов придерживаться должной умеренности и осторожности (т. е. скорее уменьшать, чем увеличивать ожидаемый доход), я все же полагаю, что после устройства всех 150 палаток можно рассчитывать на доход не менее $2^1/_4$ млн руб., при расходе на местные учреждения и на Главную палату около $1^1/_2$ млн руб., что даст тогда доходу около 750 тыс. руб. в год. Если это произойдет, то тогда можно будет уменьшить таксу за выверку, но ранее того, я полагаю, делать такое уменьшение было бы прямою ошибкою, так как плата за выверку мер и весов дает особую торговцам уверенность, которую должно ценить многими миллионами для такой обширной страны, как Россия.

Таким образом, по указанному расчету (включая разрешенные на 1901 г. 5 палаток) в сметы 1902—1912 гг. должно включить следующие расходы и примерные доходы:

Год	На устройство и содержание новых палаток		На содержание уже учрежденных палаток		Дохода ожидается около, в тысячах рублей
	числом	расход в тысячах рублей	числом	расход в тысячах рублей	
1902	15	110	10	104	300
1903	15	110	25	235	525
1904	15	110	40	366	750
1905	15	110	55	497	975
1906	15	110	70	628	1200
1907	15	110	85	759	1425
1908	15	110	100	890	1650
1909	15	110	115	1021	1875
1910	15	110	130	1152	2100
1911	15	110	145	1283	2325
1912	5	40	150	1310	2325
Итого . . .		1.030		8245	15450

[1] Из 10 нормальных, вероятно, не менее 5 принесут более чем по 25 тыс. руб., 5 остальных — не менее как по 20 тыс. руб., а 5 уменьшенных все же дадут хоть малый доход.

Так как мои предположения о доходах, сообщенные в представлении от 16 апреля 1898 г., на опыте, правда, в размере еще очень малом, более чем оправдались, то я убежден, что действительность оправдает и приведенный сметный расчет на 10 лет вперед. Общий его результат будет, без всякого для меня сомнения, состоять в том, что к 1913 г. доходы от выверки мер и весов (около 15 млн руб.) с избытком покроют не только все расходы на устройство и обзаведение местных палаток (около 1 млн руб.) и на их содержание (около 8 млн руб.), но и все текущие расходы Главной палаты, даже если бюджет ее будет доведен до 200 тыс. руб. в год (ныне 82 800 руб. в год), тем более, что выверка в самой Главной палате точных и особых технических измерительных приборов (электрических, термометров и т. п.) сама даст возрастающие доходы, о размерах которых нельзя судить вперед, пока не будет установлена обязательность выверки электрометрических, манометрических и тому подобных приборов, а будет, как ныне, только факультативная выверка. Но и не принимая во внимание сборов, поступающих в Главную палату, сборы в местных палатках должны уже с 1903 г. (при 15 вновь учрежденных и 25 ранее основанных палатках) покрывать с избытком весь расход на дело мер и весов, а все доходы должны возрастать с годами от умножения числа палаток, числа жителей и количества торговых оборотов. Если это достигнется, то весьма важное в торгово-промышленном отношении упорядочение мер и весов в империи представит довольно исключительный пример прогрессивной реформы, совершенной без особых на то расходов.[1]

IV. Дополнения, необходимые в Главной палате при развитии местных поверочных учреждений

Ряд специальных обязанностей, возложенных на Главную палату, состоит: а) в воспроизведении прототипов мер длины, веса и объема; б) в выверке их копий и образцов, доставляемых правительственными и частными лицами и учреждениями; в) в устройстве и организации выверки электрических, газо- и водомерных, световых, температурных,

[1] Избыток доходов над расходами — после учреждения выверки во всей империи — может послужить к покрытию расходов на окончательное введение метрических мер, когда то будет признано своевременным.

баро- и манометренных, угломерных и тому подобных измерительных приборов, а также камертонов, волчков, калибров и т. п., для чего по каждому предмету необходима установка своих норм или прототипов; затем г) во внезапной ревизии по всей империи не только местных поверочных учреждений, но и мер и весов, применяемых на железных дорогах, в таможнях, почтамтах, банках и других казенных учреждениях, равно как в торговых и промышленных заведениях, а также д) в составлении и публикации разного рода отчетов, таблиц и инструкций, касающихся всего дела мер и весов. К этому, и без того очень сложному и трудному, особенно при начале действия, первому ряду обязанностей Главной палаты прибавляется — со введением местных поверочных учреждений — необходимость всей организации каждой местной палатки, так как Главная палата, судя по опыту первых учрежденных палаток, должна: а) послать одного из инспекторов для собрания предварительных сведений в каждом месте учреждения палаток; б) заказать, принять и выверить измерительные приборы и клейма, для нее назначенные; в) снестись с подлежащими ведомствами, при коих учреждаются местные палатки, и устранить встречающиеся препятствия; г) испытать и на деле обучить всех местных поверителей и лиц, ищущих таких мест; д) всемерно помочь палаткам в трудный период открытия их действий; е) ревизовать правильность хода дел в каждой палатке и ж) отвечать на массу запросов, поступающих в Главную палату по предмету устройства местных палаток.

Главная палата по положению, высочайше утвержденному 4 июня 1899 г., организована преимущественно для выполнения первого ряда возложенных на нее обязанностей и имеет для того, кроме управляющего, его помощника, механика и делопроизводителя, только 5 старших и 5 младших штатных инспекторов. Ввиду же постепенного расширения дел в Главной палате в ст. 18 (п. «г») указано, что будет учреждено «необходимое по мере надобности число сверхштатных младших инспекторов». Если впредь ежегодно будет учреждаться по 15 местных палаток и будут приняты далее исчисляемые мероприятия, то на 1902 и 1903 гг. я считаю возможным обойтись без добавочных инспекторов, но с 1904 по 1913 г. считаю необходимым учреждение, по крайней мере, 10 новых штатных младших инспекторов, особенно ввиду того, что впереди предстоит устройство палаток в отдаленных краях и развитие периодической

поверки, для чего посылаемые инспекторы должны будут тратить очень много времени.[1]

Сложность дел, возникающих из второго ряда обязанностей, выпадающих на Главную палату, увеличивается единовременностью в организации выполнения первого ряда обязанностей и большим числом бумаг и личных сношений, неизбежных при учреждении и действии особого и сложного дела. Для возможности правильного выхода из всей этой сложности, я считаю наиболее необходимым организовать с 1902 г. при Главной палате свою канцелярию, как упомянуто во вступительных замечаниях. Ныне по штату в Главной палате имеется только один делопроизводитель и при нем писцы по найму. На того же делопроизводителя возложены (ст. 18, п. «д») обязанности бухгалтера и смотрителя зданий Палаты. Но при этом, с соизволения г-на министра финансов, Сергея Юльевича Витте, вся счетная часть по Главной палате доныне еще остается, как было ранее, при Департаменте торговли и мануфактур (ныне в Отделе торговли). Однако, по указанию Государственного контроля, впредь счетная часть должна быть при самой Палате. При усложнении дел, современный порядок оказывается в действительности заключающим много разных неудобств, а когда все главные дела по многим местным поверочным палаткам сосредоточатся в Главной палате, неизбежно необходимо будет в ней обширное делопроизводство, для которого и необходима особая канцелярия. По моему мнению, она должна состоять из 5 штатных лиц, а именно: 1) правителя канцелярии, 2) одного его помощника, 3) приемщика,[2] 4) бухгалтера (счетная часть) и 5) экзекутора (смотрителя зданий), который будет в то же время казначеем, — при необходимом числе наемных писцов. Правитель канцелярии Главной палаты, по мнению моему, должен быть во всех отношениях сравнен со старшими инспекторами, а его помощник, бухгалтер и экзекутор — с младшими инспекторами. Приемщику же, по моему мнению, должно назначить годовой оклад в 1200 руб. На наем писцов и канцелярские расходы ныне отпускается 2200 руб., а следует не менее 5000 руб.; на

[1] Сверх оклада младших инспекторов (каждому в год по 1800 руб.) необходимо будет тогда удвоить и сумму на командировки (ныне отпускается 5 тыс. руб.).

[2] Для приема предметов, поступающих для выверки в Главную палату и для ведения в сем отношении отчетности по Палате и по палаткам всей империи.

награды и пособия следует прибавить, при увеличении канцелярии (и числа служителей), по крайней мере, 1500 руб. в штат Главной палаты.

В ст. 16 «Положения о мерах и весах» к перечисленным обязанностям Главной палаты, сообразно с выяснившимися из опыта обстоятельствами, следовало бы прибавить (сверх 14 перечисленных пунктов) три новых: 1) Главная палата должна заведывать местными поверочными палатками (ст. 19), 2) учреждать, по мере надобности, временные отделения местных палаток (ст. 24)[1] и 3) распределять по местным поверочным палаткам и их отделениям состоящих при ней запасных поверителей, для содержания которых отчисляется 5% из сумм, отпускаемых на содержание местных палаток. Только при таких дополнениях Главная палата получит возможность выполнить (ст. 16, п. 5) «наблюдение за выверкою и единообразием мер и весов и всяких измерительных приборов, находящихся в обращении и подлежащих законной выверке» (ст. 41 и 44), а иначе у нее не будет в заведывании достаточного — для указанной цели — числа лиц и учреждений, чрез которых можно было бы действовать по всей стране.

К ст. 17 (об особых печати и клеймах Главной палаты) или к ст. 18 (о составе Палаты), или к какой-либо иной статье, следовало бы присовокупить, что Главная палата имеет право причислять к своему составу лиц, не состоящих на штатной службе, потому что опыт показал необходимость такого причисления, и доныне оно производится при помощи причисления к Министерству финансов, с откомандированием для занятий в Главную палату, что ведет только к излишней переписке. Так как кандидаты на штатные места, имеющиеся при Главной палате, долгое время, за недостатком свободных мест, оставляются лаборантами Главной палаты (по найму) и очень заинтересованы в том, чтобы иметь определенное служебное положение, а число служащих в Главной палате, несомненно, должно увеличиваться по мере развития дел, и подыскать и удержать таких лиц представляет главную трудность при организации дел Главной палаты, имеющих специально-научный характер, то я, с своей стороны, считаю весьма важным

[1] В сей ст. 24, поэтому, следовало бы поставить вместо слов: «по распоряжению Департамента торговли и мануфактур» слова: «по распоряжению Главной палаты мер и весов». Такая замена вызывается преимущественно спешностью, с которою, в большинстве случаев, должны быть устраиваемы такие временные отделения.

и полезным доставить Главной палате право причислять, сверх штата, к своему составу испытанных ею лиц, число коих, вероятно, ограничится сравнительно небольшим количеством.

В заключение тех соображений и предположений, которые относятся к Главной палате, считаю долгом вновь[1] обратить особое внимание на настоятельную необходимость расширения помещений для Главной палаты. В письме моем от 22 февраля 1901 г. за № 146 выяснено, что для устройства выверки специальных приборов (электрических, световых и т. п., перечисленных в ст. 16, п. 7) уже ныне, когда еще далеко не все требующееся устроено, совершенно недостает надлежащих помещений и что от существующей уже ныне тесноты может пострадать успешность в ходе многих измерительных работ и самая их точность. В представлениях же от 14 и 24 августа 1899 г. за №№ 224 и 233 и от 28 февраля 1900 г. за № 126, выяснена необходимость иметь не только особый машинный дом (с компараторной и с жильем для мастеров), но и квартиры для всех штатных инспекторов Главной палаты. Ныне же я считаю, сверх того, необходимым ходатайствовать об устройстве помещений: 1) для выверки водомерителей и газомерителей, 2) для выверки волчков, пурок и калибров, 3) для выверки угломерных снарядов, 4) «для выверки других измерительных приборов, применяемых в торговле, промышленности и искусствах» (ст. 16, п. 7), 5) для химической лаборатории и 6) для квартир правителя канцелярии и бухгалтера, ибо их необходимо, по множеству спешных дел, часто требовать вне служебного времени. Совокупляя все исчисленные настоятельные надобности в одно целое, я, на основании весьма умеренного и особо тщательного расчета, считаю необходимым в ближайшее время расширить помещение Главной палаты, по крайней мере, со свободным (жилым) пространством по площади в 1100 кв. сажен или около 730 куб. саженей (из них: 25 куб. сажен на компараторную и по 25 куб. сажен на 5 специальных лабораторий, для мастерских и машин 80 куб. сажен, для квартир 4 старших инспекторов и правителя канцелярии по 60 куб. сажен и для 4 младших инспекторов и для бухгалтера по 40 куб. сажен), а по наружному обмеру около 1300 куб.

---

[1] См. мои представления 14 и 24 августа 1899 г. №№ 224 и 233, 28 февраля 1900 г. за № 126, 22 февраля 1901 г. за № 146 и др.

сажен,[1] для чего, при железных стропилах, негорючих потолках и водяном отоплении, необходимо, по крайней мере, по 125 руб. на куб. сажень, если дома будут в 4 и 5 этажей, или в сумме 162 тыс. руб. Из них уже ассигновано 10 тыс. руб. (январь 1899 г.)+15 тыс. руб. (4 июня 1899 г.)+20 тыс. руб. (17 января 1900 г. кредит сей утвержден Государственным советом, но в сметы еще не вошел), всего 45 тыс. руб. — на машинный дом, а потому требуется ассигновать еще 117 тыс. руб.[2] Ассигнование такой суммы, увеличивая необходимые лаборатории Главной палаты и давая в то же время лицам, в ней служащим, квартиры, доставит годовую экономию на квартирных деньгах:

4 старших инспекторов	по 700 руб.	= 2800 руб.
1 правителя канцелярии	» 700 »	= 700 »
4 младших инспекторов	» 400 »	= 1600 »
1 бухгалтера	» 400 »	= 400 »
		5500 руб.

На ремонт же и отопление обоих зданий и на наем добавочных служителей к отпускаемой ныне сумме (14 500 руб.) достаточно прибавить 2500 руб. А так как стоимость построения (в виде добавочных этажей) квартир служащих, наверное (в сумме из 117+45=162 тыс. руб.), составит не более 50 тыс. руб. (ибо квартиры служащих займут лишь верхние этажи, постройка которых, при готовых фундаменте и кровле, сравнительно очень дешева), то остающиеся 3 тыс. руб. квартирных с погашением (по нормам городских кредитных обществ, 6% с погашением) оплачивают затрату на устройство квартир. Это устройство квартир для главных служащих Палаты, как я имел случай неоднократно докладывать, считается мною столь важным условием для успешности дальнейшего ведения всех дел для упорядочения мер и весов в империи, что я считаю невозможным правильно выполнить предстоящие многосложные функции, возлагаемые на очень ограни-

[1] При высоте $6^1/_2$ сажен и ширине 7 сажен два здания получаются длиною около 13 и 17 сажен, на что свободное место во дворе и саду Главной палаты имеется.

[2] Такое ассигнование может быть распределено: на 1902 г. 67 тыс. руб. (стройка вчерне) и на 1903 г. 50 тыс. руб. (на отделку); но расход сей может быть избегнут, если Главной палате будут отданы помещения, ныне занятые Техническим комитетом Главного управления неокладных сборов, как я просил в письме от 22 февраля 1901 г. за № 146 его превосходительство Владимира Ивановича Ковалевского.

ченный персонал Главной палаты, ибо убежден, что каждый из служащих в Главной палате, будучи обеспечен квартирою, сделает полезных дел во много раз более, чем не получающий квартиры, и управляющему Главною палатою — только при снабжении главных служащих квартирами — можно быстро и во всякое время сноситься с ними, что совершенно неизбежно делать в таком сложном и новом деле, как установление хорошей выверки мер и весов в такой обширной стране, как Россия. Если все испрашиваемые квартиры не будут устроены при Главной палате, число чинов, в ней служащих, необходимо немедленно увеличить, и вместо 5 младших инспекторов с 1902 г. — при быстром возрастании числа местных поверочных палаток — следует назначить, по крайней мере, 10, а затем ежегодно, до 1913 г., прибавлять по одному новому младшему инспектору. Считаю в заключение долгом прибавить, что оклады, назначенные инспекторам (старшим 2900 руб. и младшим 1800 руб. в год) очень ограничены, судя по современным нормам, по тем требованиям, которые к ним предъявляются, по основательнейшей научной подготовке, которая для каждого из них неизбежна, и по массе труда, которая на них ложится. Трудность подыскания соответственных лиц и ограниченность числа достойных кандидатов заставляют меня усерднейше просить не отказать в скором и окончательном решении указанного вопроса. Что же касается до необходимости расширить помещения мастерских и специальных лабораторий Главной палаты, то она вытекает совершенно логически из опыта (тесноты помещений) и из ряда прямых обязанностей, возлагаемых на Главную палату. Ее дела доныне шли с надлежащим успехом, но умножаться прямо не могут из-за тесноты имеющегося помещения. Если квартиры служащих не были бы устроены, а число инспекторов увеличено, то все же следует на 1902 г. сверх 45 тыс. руб. на машинный дом ассигновать не менее 70 тыс. руб. на расширение помещений Главной палаты.[1]

---

[1] Повторю еще раз, что немедленная передача Главной палате помещений (соседних с нею — в одном дворе), занятых ныне Техническим комитетом Главного управления неокладных сборов, могла бы послужить, вместе с ассигнованными на машинный дом 45 тыс. руб. (тогда они пойдут для переделок и приспособлений) для удовлетворения насущнейших надобностей Главной палаты, как объяснено в моем письме от 22 февраля 1901 г. за № 146 к его превосходительству Владимиру Ивановичу Ковалевскому.

V. Кредиты, потребные для устройства и содержания местных поверочных палаток

Снабжение нормальных палаток, при их устройстве, комплектом необходимейших приборов, на основании опыта, требует расхода около 3500 руб. на каждую, а именно:

	Примерно рублей
Четверо равноплечих весов для разных грузов	310
К ним двойной комплект гирь русских и гирь для допусков	700
Десятичные или сотенные весы на 15—75 пудов . . .	150
Компаратор	160
Образцовые меры длины по русской системе	100
Образцовые меры объемов	320
Весы и другие наборы для разъездов	400
Образцы метрических мер	615
Стативы, кронштейны и другие приспособления . . .	100
Необходимейшая мебель, пересылка и непредвиденные расходы — около	645
Итого . . .	3500 руб.

Для палаток уменьшенного размера расход этот может быть сокращен до 2500 руб., уменьшая меблировку, число метрических мер и число наборов для разъездов.

Неизбежность изнашивания и порчи всяких приборов, а также потребность рассылки в палатки новых и дополнительных измерительных приборов (например метрических, если на них будет спрос) и приспособлений требуют того, чтобы для ремонта и пополнения приборов отпускалось ежегодно на каждую палатку не менее, как по 400 руб. в год. Этою последнею суммою должна ведать Главная палата, чтобы иметь возможность делать заранее заказы и распределять предметы туда, где в них появится надобность.

Что касается годового содержания каждой нормальной палатки, то (опять судя по опыту) его нельзя считать повсюду одинаковым, но можно предвидеть только два крайние типа: наибольших и наименьших палаток, в которых приблизительные размеры расходов будут около [в рублях]:

	Наибольшее	Норма	Наименьшее
Плата за помещение и его отопление	2000	1500	300
Управление и старший поверитель .	3000	2500	2000
Поверители числом от 2 до 6 и их помощники	6000	4500	1800
Служители и канцелярские расходы	1000	600	400
Ремонт мебели, командировки и мелкие расходы	1500	900	100
	13500	10000	4600

Вообще, я полагаю, как упомянуто выше (стр. 798), что на годовое содержание каждых 15 палаток следует отпустить не менее 125 тыс. руб. (что составит в среднем на 1 палатку по $8333^1/_3$ руб. в год); но из этой суммы, судя по организации и по бывшим примерам (стр. 794), мне кажется, следует оставлять в распоряжении Главной палаты 5% (на палатку 416 руб.) для содержания местных поверителей, распределяемых не по предначертанному вперед плану, а по действительной надобности, так как вперед предвидеть нельзя всех местных обстоятельств и так как, после учреждения, в некоторых палатках может оказаться непосильным число представляемых предметов и недостаток в числе поверителей. Сосредоточение при Палате части местных поверителей особенно важно будет при организации объездов поверителей по району действия палаток для периодической поверки и клеймения. Опыт, произведенный в сем году (поездки поверителей по городам С.-Петербургской и Владимирской губерний), показывает, что легко можно организовать разъездных поверителей, если их будет налицо достаточное число, но что данная губерния с 10—12 уездными городами может быть осмотрена в течение года, так что одно и то же лицо в следующие два года (при чередовой проверке чрез 3 года) может объехать район двух других губернских палаток. Поэтому, для этой-то цели, могущей не только сильно содействовать упорядочению мер и весов в империи, но и возвысить валовой сбор, весьма полезно именно при Главной палате, а не при местных палатках, иметь особенных запасных местных поверителей. Сумма, отпущенная на данную палатку, неизбежно должна быть фиксирована на период, по меньшей мере, в один или два года, а временные надобности могут изменяться очень часто. К числу условий, требующих организации запасных местных поверителей при Главной палате, должно отнести также и устройство временных отделений в местах производства мер и весов, на ярмарках, при навигации и т. п., для чего совершенно необходимо иметь запасных лиц в распоряжении, общем для всей империи, но не при отдельных местных палатках.

В отношении к суммам, испрашиваемым на местные поверочные учреждения, считаю долгом прибавить, что, приняв сумму 125 тыс. руб. в год на каждые 15 палаток, я взял числа очень малые, чтобы, по возможности, не обременять казначейство расходами, но, очень быть может, было бы целесообразнее предоставить г-ну министру финансов, на

основании указаний дальнейшего опыта, включать в годовую смету на открываемые палатки от $8^1/_2$ до 14 тыс. руб. на каждую и распределять отпускаемую сумму между учрежденными палатками по сметному назначению, сообразно местным потребностям.

В год учреждения каждой местной палатки следует включать в смету лишь полугодовое содержание, так как первоначальное устройство и снабжение приборами не позволит учреждаемой палатке действовать в течение полного года. Здесь будут разнообразия (часть открытых палаток будет действовать, например, 8 месяцев, а другая часть — лишь 4 месяца в год учреждения), которые не могут быть предусмотрены законом, а потому и в этом отношении должно предоставить распределение назначенных сумм усмотрению г-на министра финансов, которому, чрез Отдел торговли, своевременно должны быть представляемы соответственные доклады Главной палаты.

VI. О сборах (таксе) за выверку торговых мер и весов в местных поверочных палатках

Так как ныне принятая норма сборов за выверку утверждена лишь до 1 января 1902 г. (высочайше утвержденное мнение Государственного совета, отд. V), то прежде всего считаю долгом повторить, что ни увеличивать ни уменьшать принятую норму, судя по опыту, нет надобности, что показывает планомерность установления ее в 1899 г. Но некоторые частности редакции требуют исправления и выяснения, которые сделаны в формуле, предложенной далее (стр. 18). Так, например, концевые линейные меры с нанесенными на оных делениями означены ныне недостаточно подробно, например «аршин с делениями на вершки», а он часто делится сверх того и на дюймы (тогда выходит по таксе $10+27=37$ коп., что представляется излишним, судя по количеству работы поверителя); поэтому я предлагаю назначить сбор за концевые меры в прежнем размере, но число делений на мере определить 50 делениями, с тем, чтобы за излишние деления платилось по 1 коп. с каждого, как требует прежняя такса. Так, например, за концевой аршин с делениями по одному боку на вершки, а с другого с подразделениями на дюймы будет взиматься 10 коп., потому что всех делений вершковых будет 15, а дюймовых 27, следовательно всего будет 42 деления. В таксе сборов за меры емкости жидкостей следует включить $^1/_{32}$ ведра

(=полубутылке винной), так как она пропущена. Другие изменения, предложенные далее в таксе, имеют тот же характер — уяснения редакции, устранения недоразумений и упрощения расчета — без всякого изменения по существу. Но, вводя в закон таксу сборов, следует упомянуть в особых примечаниях: 1) что сбор за метрические меры, представляемые для выверки, определяется особою инструкциею, составленною сообразно таксе за выверку русских мер и утверждаемою г-ном министром финансов. Это примечание необходимо потому, что по ст. 11 дозволено применение метрических мер «наравне с российскими» и 2) что сбор за меры и весы, не означенные в таксе, определяется инструкциями г-на министра финансов. При этом необходимо обратить внимание на то, что все обычные меры и весы, обращающиеся в торговле, подходят под рубрики таксы, но могут встречаться такие меры особого рода, которые могут выверяться в местных палатках, а они будут поставлены в затруднение при назначении сбора за выверку. Так, например, для выверки могут быть представлены нормальные грузы определенного веса, калибры для измерения отверстий или цилиндров, и т. п.

Самым важным, в отношении сборов за выверку мер и весов, указанием опыта я считаю то, что по ст. 40 сборы должны вноситься исключительно в казначейства. Это постановление не представляет неудобства для фабрикантов, живущих около городов и выверяющих сразу много предметов, так как они тогда вносят аванс и палатка отмечает сбор. Но для мелких производителей в деревнях, а также при периодической поверке в отдельных лавках и заведениях, особенно в селах, неудобства так велики, что ст. 40 требует пополнения,[1] которое может состоять в том, чтобы г-ну министру финансов было предоставлено право, сообразуясь с отдельными обстоятельствами, назначать другие — сверх казначейств — места для приема денег, следуемых за выверку и для выдачи в том квитанций. Такими местами могут быть: казначей, или особо избранные члены тех учреждений, при которых устроятся палатки, в деревнях —

[1] Полагаю, что вместо взноса в казначейство, для удобства плательщиков можно было бы установить особые марки по выверке мер и весов; но так как многие утверждают, что здесь возможны подлоги, и у поверителей, принимающих марки, нельзя предполагать особенных способностей быстро узнавать такие подлоги, то я предлагаю ныне иной способ удовлетворения удобств внесения сборов за выверку мер и весов (прим. ? к ст. 40, стр. 19).

волостные правления или сборщики податей, при ревизиях и объездах — инспекторы Главной палаты или чиновники, причисленные к Главной палате, а в некоторых случаях и отдельные местные поверители. Вследствие сего ст. 40 далее предположено дополнить.

VII. Предполагаемые изменения в «Положении о мерах и весах» и в штатах Главной палаты

Как существо, так и форма[1] «Положения о мерах и весах», высочайше утвержденного 4 июня 1899 г., конечно, не должны быть изменены при том пересмотре, который ныне должен быть, согласно с мнением Государственного совета, произведен до 1 января 1902 г. Поэтому, ради облегчения предстоящей работы и для формулирования всего вышесказанного я привожу далее: А) сопоставление ныне действующего закона с предполагаемым; Б) дополнения, предположенные в штате Главной палаты, и В) предлагаемое постановление о кредитах для устройства и содержания местных поверочных палаток и Главной палаты.*[...].

VIII. Заключение

Представляемые в сем докладе предположения и соображения в своих основаниях руководствуются следующим: 1) не только существо, но и вся форма «Положения о мерах и весах», высочайше утвержденного 4 июня 1899 г., сохраняются в полной целости; 2) так как опыт 1900 и 1901 гг. в общих чертах подтвердил предварительные расчеты, то и в отношении к местным поверочным палаткам существо дела оставлено в том виде, в каком это дело представлялось уважению Государственного совета в 1899 г., а если введены некоторые изменения (отчисление 5% от содержания палаток для распределения местных поверителей от Главной палаты, назначение для каждой палатки по 400 руб. на пополнение и ремонт приборов и учреждение, сверх нормальных палаток, —

---

[1] С формальной стороны следовало бы сделать несколько изменений, но они несущественны и могут быть произведены при кодификации. Для примера упомяну о том, что вместо «Департамента торговли и мануфактур» следовало бы поставить везде «Отдел торговли» и о том, что в ст. 1 вкралась (при публикации в «Сенатских ведомостях») погрешность. В ней сказано: «Основанием Российских мер и веса (массы) служит фунт...», а следует сказать: «Основанием Российских мер веса (массы) служит фунт...».

* Дальнейшие подробности опускаются, как имеющие местное ведомственное значение. [*Прим. ред.*].

уменьшенных), то сие сделано на основании указаний опыта и в развитие оснований, ранее обсуждавшихся; 3) желательно было, чтобы в ближайшие годы (а именно, начиная с 1903 г.) ожидаемые доходы от сборов за выверку покрывали не только сметные назначения на содержание местных палаток,[1] но и все прочие расходы, сопряженные с упорядочением мер и весов в России, а именно: первоначальные расходы на оборудование Главной палаты и местных палаток и текущее содержание, отпускаемое на Главную палату мер и весов.

Можно с уверенностью предполагать, что уже с 1903 г., когда будут действовать 25 местных палаток и окончится постройка добавочных домов для Главной палаты, доходы от сборов будут превосходить сметные ассигнования,[2] а примерно с 1911 г., когда устроятся, по предположению, все местные поверочные палатки в империи, доходы, наверное, значительно будут превосходить все расходы на меры и весы в империи.

Так как такой результат определится преимущественно усилиями чинов Главной палаты мер и весов и так как лиц, в ней служащих, должно стремиться всемерно удержать, то я имею честь выставить на вид следующее заключительное мое предложение, которое желательно было бы ныне же подвергнуть уважению Государственного совета, а именно:

Лица, служащие в Главной палате мер и весов, получают чрез каждые пять лет прибавку к своему содержанию, равную каждый раз одной пятой доле всего получаемого ими содержания.

В качестве управляющего Главною палатою я решаюсь ходатайствовать о такой исключительной мере на основании

---

[1] Все расходы на содержание одних местных палаток покрываются (с излишком) сборами за выверку уже в текущем 1901 г. (см. Приложение, стр. 24).

[2] А именно, для 1902 г. расходы будут состоять: 1) из 110 тысяч на учреждаемые 15 палаток, 2) из 104 тысяч на 10 палаток, учрежденных в 1900 и 1901 гг., 3) из 96 900 руб. на содержание Главной палаты мер и весов, 4) из 20 + 67 тысяч на здания при Главной палате мер и весов, — всего в сумме 397 900 руб. Доходы же в этом году должны достичь: до 300 тысяч от палаток прошлых годов и примерно 50 тысяч от вновь учрежденных 15 палаток и от Главной палаты. В 1903 г. соответственные расходы будут 110 тысяч на новые палатки + 235 тысяч на 25 палаток прежних лет + 96 900 — на Главную палату + 50 тыс. руб. на здания при ней, всего 491 900 руб., а доходы должны достичь до: 300 тысяч от палаток 1900 и 1901 гг. + 300 тысяч от палаток 1902 г. + 50 тысяч от вновь учрежденных палаток и Главной палаты мер и весов, в сумме 650 000 руб., т. е. должен получаться избыток около 159 тысяч руб. в год. Должно думать, что избыток этот в действительности будет бо́льшим.

двух соображений: во-первых, таковой порядок существует в Германии (стране, несомненно, экономной по отношению к содержанию чиновников) по отношению к чинам, служащим по ведомству мер и весов, и, во-вторых, и без того трудные, сложные и доверенные обязанности * чинов Главной палаты требовали бы высших окладов, чем те, которые ими получаются, но они сообразованы с существующими в России другими примерами; возвышение же этих окладов, по мере продолжения службы, было бы совершенно правомерным ввиду особых условий, в которые поставлены по своим обязанностям чины Главной палаты (не имеющие возможности — без оставления Палаты — переходить на должности с высшими окладами, ибо их очень мало) и содействовало бы удержанию при Палате лиц, получивших надлежащую опытность.

Сверх всего, считаю долгом упомянуть о том, что в изложенных мною предположениях я всемерно старался о том, чтобы, с одной стороны, обеспечить все, даже мало населенные, края России соответственными (уменьшенного размера) поверочными палатками, а с другой стороны, не умножить безмерно их числа, и полагаю, что избранное количество (на всю империю около 150 палаток) ответит обоим этим требованиям. Если же 10-летний опыт покажет надобность в умножении или сокращении числа палаток, то этого легко будет достичь, так как при организации местных поверочных учреждений в принципе принято, что поверочные палатки открываются и закрываются распоряжением г-на министра финансов (ст. ст. 19 и 20), так как лица, служащие в сих палатках, не состоят на коронной службе. Все дело устройства мер и весов в империи обосновано с должною осторожностью и ныне требует лишь завершения, обеспечивающего — сверх всего прочего — еще и чистый доход казны.

Управляющий Главною палатою мер и весов

5 апреля 1901 г. *Д. Менделеев.*

---

* Повидимому, это единственное место в томе, трудное для точного понимания. Можно думать, что имелось в виду сказать: «... доверенные обязанности, трудные и сложные, чинов...». Предположение о том, что Д. И. Менделеев хотел сказать о доверии, которое должны оправдывать сотрудники Главной палаты в смысле отсутствия легко возможных злоупотреблений при поверках — не исключено, но труднее увязывается с остальными словами предложения. [*Прим. ред.*].

Сравнительные таблицы русских, метрических и английских мер. Изд. Главной палаты мер и весов, С.-Петербург, 1902.

ПРЕДИСЛОВИЕ *

По ст. 16, п. 8 «Положения о мерах и весах», высочайше утвержденного 4 июня 1899 г., к обязанностям Главной палаты мер и весов относится, между прочим, «составление сравнительных таблиц русских и метрических, а также иных иностранных мер», на основании узаконенных соотношений между русским фунтом и килограммом (ст. 1), равно как между аршином и метром (ст. 3); во исполнение этого, в ноябре 1899 г. Главная палата мер и весов опубликовала стенную таблицу узаконенного отношения русских мер к международным или метрическим, имея в виду, что по ст. 11 «Положения о мерах и весах» с 1 января 1900 г. метрические меры факультативно (т. е. по взаимному соглашению договаривающихся сторон) допущены в империи наравне с русскими мерами.

К ныне публикуемым более подробным таблицам, назначаемым к облегчению перехода от русских мер к метрическим и обратно с возможною степенью точности, присоединены отношения русских и метрических мер к английским, так как эти последние пользуются широким распространением и находятся в некоторой исторической связи с русскими мерами.

Сверх того, в предлагаемых таблицах приведены числа, выражающие узаконенный вес для различных государств золотых монетных единиц, а также весовое количество заключающегося в этих единицах чистого золота (стр. 47).

В конце приложены некоторые дополнительные метрологические сведения, основанные на современных научных данных и могущие помогать при разного рода расчетах, но уже не имеющие того узаконенного и абсолютного значения,

---

* Следующие за предисловием таблицы не воспроизводятся. [*Прим. ред.*].

какое принадлежит числам, помещенным в предыдущих таблицах.

Хотя составлением и проверкою таблиц занимались многие служащие Главной палаты мер и весов, но главная часть труда произведена механиком Палаты Ф. П. Завадским.

Управляющий Главною палатою мер и весов

9 ноября 1901 г. *Д. Менделеев.*

М. Ф.
УПРАВЛЯЮЩИЙ
ГЛАВНОЮ ПАЛАТОЮ
МЕР И ВЕСОВ
22 января 1902 г.
№ 53

Центральный Государственный исторический архив в Ленинграде, ф. 22, оп. 2, дело 1674, л. л. 1—3.

Его превосходительству В. И. Ковалевскому

Милостивый государь,
высокоуважаемый
Владимир Иванович!

Соответственно с «Положением о мерах и весах», Главная палата стремится всеми доступными ей способами ответить на запрос о выверке (ст. 16, п. 7) «всякого рода приборов, применяемых в промышленности, торговле и искусствах», «в соответствии с основными измерениями веса, длины и времени». В первоначальных (1899 г.) своих заявлениях и устройствах Главная палата имела в виду преимущественно те виды приборов, в которых преобладающее значение имеют единицы веса и длины, куда нужно отнести не только обыкновенные торговые меры, но и электрические, манометрические и тому подобные приборы. Хотя в этом отношении подготовка ведется по многим отделам приборов, но в установке некоторых отделений встречается задержка в том отношении, что доныне обзаводство Палаты еще не коснулось единиц времени; так, например, при установке точных манометров, давление ртутного столба должно быть исправляемо при помощи точных данных о напряжении тяжести, а сведения об этом предмете прямо определяются измерениями времен. Еще в большей мере надобность в точном знании времени обусловливается требованиями мореходства, определением «работы» в механическом смысле, и т. п. По этим причинам при возведении нового здания Главной палаты ей разрешено устроить башню для астрономической обсерватории, что ныне вчерне и исполнено.

Вследствие этого, озабочиваясь об устройстве основных приспособлений для определения времен, с соизволения его высокопревосходительства г-на министра финансов, по личному докладу 18 сего января, имею честь представить ва-

шему превосходительству соображения, касающиеся расходов, необходимых для сего дела:

1) Необходим астрономический рефрактор (экваториал) с часовым двигателем. По собранным сведениям $4^1/_4$-дюймовый прибор известного производителя Кука в Йорке будет стоить, с приспособлениями для фотографирования около	2000 руб.
2) К нему необходимые спектрометрические приспособления — около	800 »
3) Пассажный инструмент исключительно для определения времен, с приспособлениями — около	2500 »
4) Основные астрономические секундные часы, по звездному времени, в замкнутом разреженном пространстве, с передаточными частями — около	2200 »
5) Посредствующие часы, по среднему времени, передающие ход к башенным часам[1] — около	1000 »
6) Механизм башенных часов с движениями часовой и минутной стрелок на трех сторонах башни и секундной стрелки на одной из сих сторон и сочетание с посредствующими часами — около	3000 »
7) 3 наружных циферблата башенных часов с приспособлениями для доступа к оным — около	1000 »
и 8) Переносные стенные часы и главный хронограф с электрической передачей — около	1500 »
Итого . . .	14000 руб.

Так как собранные предварительные сведения о ценах указанных устройств не могут обладать полной точностью, то при разрешении кредитов покорнейше прошу предоставить право перечислять из одной рубрики в другую с тем, чтобы общая сумма (с пересылкою) испрашиваемых расходов не превосходила 14000 руб.

Многие из упомянутых приборов могут быть приготовлены здесь, в С.-Петербурге, при помощи Г. Эриксона — механика хронометренных приборов для военного флота, но часть инструментов должна быть заказана заграничным специалистам. Для этой последней цели я считал бы полезным весной нынешнего года отправиться вместе с инспектором Ф. И. Блумбахом в заграничную командировку примерно месяца на 2 или 3. Срок командирования определяется тем, что для целей Главной палаты необходимо точно установить отношение в напряжении тяжести в самой Палате и в Международном бюро мер и весов в Бретейле (около Парижа), так как по постановлению Международной конфе-

[1] Эти часы дадут возможность передавать точное время не только башенному механизму, но и другим часам города, когда это потребуется, — помощью электрических проводов.

ренции ныне принято исходить в сем отношении из напряжения тяжести в Бретейле. Попутно считаю чрезвычайно полезным определить напряжение тяжести, во-первых, в Париже и, во-вторых, в Будапеште, потому что этот последний город лежит близко к 45° с. ш. Для точного сравнительного определения напряжения тяжести[1] необходимо взять с собой из Главной палаты, по крайней мере, следующие главные приборы: 1) переносный маятник Главной палаты с принадлежностями, весящий около 15 пудов, 2) переносные стенные часы, которыми для сей цели нас временно одолжает Военно-топографический отдел, весом около 10 пудов и 3) универсальный астрономический прибор Главной палаты с принадлежностями, весом около 11 пудов.

Перевозка указанных 36 пудов стоит, по собранным сведениям, вперед и обратно (С.-Петербург — Париж — Бретейль — [Буда]пешт — Петербург) примерно по 25 руб. с пуда,[2] а потому для этой перевозки необходимо отпустить 900 руб. Для 2- или 3-месячной командировки инспектора Палаты Ф. И. Блумбаха считаю необходимым отпустить не менее 750 руб. Что же касается расходов на мою командировку,

[1] Для определения абсолютной величины напряжения тяжести в Главной палате (в новом здании) начато устройство особых приспособлений, потому что прежние способы абсолютного определения требуют коренной проверки, а современные исследования, произведенные многими усилиями французских, американских, немецких и русских геодезистов, исключительно направляются к определению относительного напряжения тяжести. Указанные приспособления для абсолютных определений, как я полагаю, не потребуют экстраординарных пособий, так как соответственные приборы могут быть постепенно построены на средства, отпускаемые Главной палате, если будут организованы точные определения времен и получены точные относительные данные. Как в новых данных для сих последних, так и в абсолютных определениях напряжения тяжести, сверх Главной палаты, особо заинтересован Военно-топографический отдел Генерального штаба. Для определения фигуры земного шара, конечно, достаточны точные относительные определения, но для множества научных исследований неизбежно точное знание абсолютной величины, для чего и вырабатываются особые приемы в Главной палате, на которую по закону (ст. 16, п. 11) возложено производство исследований и обсуждение вопросов, касающихся мер и весов; напряжение же тяжести входит в круг важнейших данных, относящихся к сей области, а потому, в качестве управляющего Главною палатою — я считаю своею обязанностью озаботиться об организации как относительных, так и абсолютных определений напряжения тяжести, тем более, что для абсолютных определений в России сделано лишь немногое (Литке, Савин, Стебницкий) и сведения сего рода прямо потребовались при установке возможно точной выверки манометров, играющих в промышленности большую роль.

[2] При разрешении испрашиваемой поездки, необходимо просить содействия Министерства иностранных дел для беспрепятственного провоза указанных приборов без раскупорки оных при переездах чрез границы.

то определение размера оных предоставляю усмотрению вашего превосходительства.

Считаю долгом к вышеизложенному добавить, что на башенных часах Главной палаты предположено по возможности регулировать не только минутную, но и секундную стрелку, чего нет, сколько мне известно, ни на каких башенных часах. Такое нововведение может быть очень полезно для скорой и независимой проверки мореходных и других хронометров. Сверх того, в Главной палате предположено принимать, за определенную плату, выверку хронометров и хронографов, равно как и угломерных снарядов.

Покорнейше прошу ваше превосходительство принять уверение в отличном почтении и готовности к услугам.

Д. Менделеев.

М. Ф.
УПРАВЛЯЮЩИЙ
ГЛАВНОЮ ПАЛАТОЮ
МЕР И ВЕСОВ

31 января 1902 г.
№ 84

Центральный Государственный исторический архив в Ленинграде, ф. 22. оп. 2, дело 1673, л. л. 1—3.

В Отдел торговли [Министерства финансов]

Ввиду окончания подготовительных работ по устройству манометрического отделения, имею честь препроводить при сем в Отдел торговли для представления, согласно п. 7 ст. 16 «Положения о мерах и весах» 1899 г., на утверждение его высокопревосходительства г-на министра финансов проект временных правил для поверки в Главной палате мер и весов приборов для измерения давления.

На основании п. 1 сих правил к поверке будут принимаемы вакуумметры, анероидные барометры и пружинные манометры, причем поверку сих приборов, в указанных правилами пределах, предположено в первое время производить бесплатно, подобно тому как это было допущено при установлении в Главной палате выверки электрических счетчиков и водомеров; некоторая плата будет взиматься лишь за выдачу особых свидетельств о выверке каждого данного прибора и за указание поправок, для них назначаемых.

По утверждении г-ном министром финансов вышеозначенных правил, покорнейше прошу Отдел торговли опубликовать их тем же порядком и в тех же изданиях, как и временные правила о бесплатной проверке электрических счетчиков и водомеров.

К сему имею честь присовокупить, что в ближайшее время мною будут представлены соображения относительно различных общепринятых единиц для выражения давлений в манометрах и барометрах как материал для установления в России, путем узаконения, определенной единицы для выражения атмосферного давления.

Управляющий Главною палатою мер и весов

Д. Менделеев.

К отношению от 31 января 1902 г., № 84.

Временные правила для поверки в Главной палате мер и весов приборов для измерения давления

1) Для поверки могут быть представляемы в Главную палату мер и весов вакуумметры, анероидные барометры и пружинные манометры.

2) Другие приборы для измерения давления, как, например, ртутные барометры и ртутные манометры, впредь до особого объявления, принимаются для поверки лишь с особого каждый раз разрешения управляющего Главною палатою мер и весов.

3) К поверке допускаются только приборы, удовлетворяющие следующим требованиям:

а) на каждом приборе должны быть обозначены фирма фабриканта и текущий номер прибора;

б) деления на шкалах приборов, впредь до особого распоряжения, должны выражать соответствующие величины в общепринятых единицах; на приборе должно быть ясное обозначение единиц, каким отвечают деления на шкале;

в) толщина штрихов делений и ширина конца стрелки не должны превышать 0.1 деления шкалы;

г) длина стрелки приборов, имеющих циферблаты, должна быть не менее радиуса шкалы, конец же стрелки должен отстоять от шкалы не более как на 0.1 деления;

д) стекло на циферблатах не должно иметь такого отшлифованного края, который мешал бы правильному отсчету показаний стрелки.

4) Если при выверке соответственным давлением произойдет какая-либо порча прибора, то Главная палата за оную не отвечает.

5) Вакуумметры и пружинные манометры, погрешность показаний которых по всей шкале, начиная с третьего деления ее (наименьшее давление) при обыкновенной температуре не превышает 0.2 одного деления, снабжаются особыми клеймами или пломбами Главной палаты мер и весов. Срок действия сих клейм и пломб будет установлен особым распоряжением.

Примечание. Пружинные манометры для высоких давлений, превосходящих 500 атмосфер, клеймами или пломбами не снабжаются и выверяются, впредь до особого объявления, только до 500 атмосфер.

6) Выверка анероидов производится для давлений от 700 до 775 мм при температурах 0° и 20° Ц, заклеймению под-

лежат только те из сих приборов, в которых, при обыкновенной температуре, погрешность против показаний ртутного барометра, приведенных к нулю и к нормальной силе тяжести, не превосходит 0.2 мм и температурный коэффициент которых менее 0.05 мм.

7) Поверка и заклеймение приборов, упомянутых в пп. 5 и 6 сих правил, впредь до особого объявления, производится бесплатно.

8) Лица, представляющие упомянутые в пп. 5 и 6 приборы и желающие получить свидетельства о выверке оных с указанием поправок, подают о сем особое прошение, прилагая квитанцию Государственного казначейства о взносе причитающейся платы, считая по 5 руб. за каждый прибор.

9) Выверка показаний анероидов ниже 700 мм и при температурах вне предела 0—20° Ц производится лишь с особого каждый раз разрешения управляющего Главною палатою мер и весов, согласно ходатайству владельцев, представляющих квитанцию Государственного казначейства о взносе, кроме платы за свидетельство, показанной в п. 8, за каждую выверяемую точку шкалы ниже 700 мм 5 руб. и за поверку прибора при каждой желаемой другой температуре 5 руб.

Д. Менделеев.

М. Ф.
УПРАВЛЯЮЩИЙ
ГЛАВНОЮ ПАЛАТОЮ
МЕР И ВЕСОВ

1 февраля 1902 г.
№ 92

Центральный Государственный исторический архив в Ленинграде, ф. 22, оп. 2, дело 1673, л. л. 7—8.

Его превосходительству В. И. Ковалевскому

Милостивый государь,

высокоуважаемый

Владимир Иванович!

На днях, делая представление о возможности начать выверку манометров при Главной палате мер и весов, я имел честь доложить вашему превосходительству, что при поверке и заклеймении манометров, играющих столь большую роль в промышленности, встречаются два затруднения.

Во-первых, при точном определении давлений необходимо точное знание местного напряжения тяжести в отношении к таковому же в Бретейле, потому что Международною комиссиею постановлено исходить в этом деле из наблюдений, имеющихся для сего предмета в Международном бюро в Бретейле. В письме вашему превосходительству от 22 января сего года за № 53 изложены мои соображения о тех способах, коими можно удовлетворить указанному требованию, а потому, если предположенная в этом письме экспедиция (моя и г-на Блумбаха) будет разрешена, мы получим возможность точно согласовать наши данные с постановлением Международной конференции и этим способом достичь всей возможной в настоящее время научной точности в определении давлений, выражаемых столбом ртути.

Во-вторых, необходимо принять во внимание, что в промышленности давления выражаются в атмосферах, но определение величины атмосферного давления изменяется в разных странах и при разных условиях, например, выражается английскими или русскими фунтами на квадратный дюйм, килограммами или граммами на квадратный сантиметр, высотою ртутного столба, считая за атмосферу — давление в 760 мм, или в 30 дюймов, и т. п. Поэтому и манометры, применяемые при паровых котлах, прессах и тому подобных

промышленных приборах, представляют соответственные различия; для достижения же единообразия в сем отношении необходимо узаконить какое-либо из употребляющихся определений для атмосферного давления. Хотя, с своей стороны, я склонен к тому, чтобы признать за норму величину нормального давления, которая установлена Международным постановлением, упомянутым выше, но не считаю, однако, возможным сделать это без опубликования особого на то законодательного постановления, так как в нашей практике применяются чаще манометры по английской системе определения атмосферы. Ввиду этого казалось бы необходимым образовать при Главной палате мер и весов особое совещание для решения вопроса о том, какое давление считать за атмосферу. Такое совещание, по моему мнению, должно составить из представителей: чинов фабрично-заводских инспекторов, ведающих паровыми котлами, министерств: народного просвещения, морского, военного, путей сообщения и внутренних дел, а также и из чинов Главной палаты (а именно: управляющий Главною палатою мер и весов, его помощник, проф. Н. Г. Егоров, механик палаты Ф. П. Завадский и младший инспектор И.Т. Гольдберг). Постановления означенной Комиссии, казалось, должны были бы взойти на утверждение в законодательном порядке; до тех же пор, как и значится в представленных правилах для выверки манометров, могут быть допускаемы к выверке манометры разных систем лишь при том условии, чтобы на них было ясно обозначено, в каких единицах выражается давление.

Покорнейше прошу ваше превосходительство принять уверение в отличном моем почтении и готовности к услугам.

Д. Менделеев.

М. Ф.
УПРАВЛЯЮЩИЙ
ГЛАВНОЮ ПАЛАТОЮ
МЕР И ВЕСОВ

31 октября 1902 г.
№ 1113

Центральный Государственный исторический архив в Ленинграде, ф. 22, оп. 2, дело 1703, л. л. 1—2.

Его превосходительству В. И. Ковалевскому

Милостивый государь,
высокоуважаемый
Владимир Иванович!

При обсуждении устройства местных поверочных учреждений, как вашему превосходительству известно, имелось в виду назначение в число местных и запасных поверителей, между прочим, лиц женского пола, кончивших курс в высших учебных заведениях и выдержавших при Палате надлежащее испытание. Участие образованных лиц женского пола в выверке мер и весов, на основании опыта в Главной палате, где имеется 5 лаборантов женского пола, я считаю во всех отношениях благоприятным и желательным, так как от поверителей требуется, прежде всего, большая аккуратность, а она женщинам очень свойственна.

Кроме того общеизвестно, что женский труд при прочих равных условиях обходится часто дешевле мужского. Образованное лицо женского пола, достигнув некоторой обеспеченности, не будет стремиться к отысканию высшего положения, что, к сожалению, очень нередко наблюдается для образованных мужчин, тем более, что, как вам известно, служба поверителей не считается государственной, а оплачивается по найму.

Сверх того, введение в круг поверителей женского элемента, по моему опыту и мнению, должно содействовать общему улучшению течения дел и обеспеченной уверенности в аккуратнейшем его выполнении при отсутствии условий государственной службы.

На основании вышесказанных соображений имею честь покорнейше обратиться к вашему превосходительству с просьбой официально и окончательно выяснить вопрос о возможности зачисления местными и запасными поверителями (по

найму) лиц женского пола, кончивших курс в высших учебных заведениях и выдержавших надлежащее испытание, особенно потому, что за последнее время получилось в этом отношении затруднение по зачислению г-ж Племянниковой и Лукницкой. Если существующие узаконения окажутся недостаточными для разрешения означенного вопроса, то я бы покорнейше просил разрешить его законодательным путем по примеру, имеющемуся в Главном управлении неокладных сборов и казенной продажи питей, Телеграфном ведомстве и т. п., получившим разрешение назначать по найму лиц женского пола. Смею надеяться на то, что участие женщин в деле местной выверки будет благоприятствовать правильному его течению.

При этом я считал бы полезным принимать в число поверителей лишь не более, как одно лицо женского пола на 5 лиц мужского и назначать в каждую палатку не более 2 лиц женского пола.

Вашему превосходительству известно, что по состоявшемуся постановлению Государственного совета в настоящее время главная ответственность по устройству местных поверочных учреждений возложена на Главную палату мер и весов, а я, с своей стороны, полагаю, что благоприятное разрешение вышеуказанного вопроса может немало содействовать правильности постановки всей местной выверки, а потому усерднейше прошу не отказать в Вашем разрешении, а при надобности и в Вашем ходатайстве для благоприятного решения вопроса.

Прошу ваше превосходительство принять уверение в отличном моем почтении и готовности к услугам.

Преданный вам

Д. Менделеев.

Музей им. Д. И. Менделеева Всесоюзного Научно-исследовательского института метрологии, альб. XV, № 1203.

Милостивый государь,

высокоуважаемый

Владимир Иванович!

При личном свидании 9 сего июня с его высокопревосходительством Сергеем Юльевичем я имел случай высказать, между прочим, что в настоящее время, за совершившимися преобразованиями в области поверочного дела, вопрос о надлежащем в техническом отношении изготовлении точных измерительных приборов, в соответствии с возрастающими к ним требованиями и развивающимся спросом, заслуживает серьезного внимания. Несомненные затруднения по этой части очень многозначительны для Главной палаты, которая должна не только постоянно приобретать новые измерительные приборы, заказывая их ныне обыкновенно у иностранных мастеров, приспособлять их к местным условиям и ремонтировать, но и снабжать поверочные палатки образцовыми мерами и весами и различными приборами, нередко требующими своего ремонта. Часть работ этого рода производится средствами самой Палаты, но главная их масса должна исполняться на стороне, в частных мастерских, что ведет к большой потере времени и ко многим излишним расходам, так как работы необходимо подряжать, сдать, принять и нередко переделывать, ибо они ведутся без прямого надзора чинов Палаты. Притом, ввиду новизны дела, число таких мастерских для производства и ремонта точных приборов невелико и оборудование их не так совершенно, чтобы они могли с требуемой тщательностью производить поручаемые им работы, а потому нередко, при недостаточной конкуренции, стоимость работ все растет и качество убывает. Для общего успеха дела требуется некоторое поощрение отдельным предпринимателям со стороны правительства, в виде денежной ссуды, конечно, при том условии, чтобы возврат был обеспечен и чтобы ссуды выдавались лицам, которые действительно уже проявили знание, навык и жела-

ние усовершенствоваться в производстве подобного рода работ.

В частности же, по отношению к Главной палате и к местным поверочным палаткам, особенно желательно развитие производства и ремонта точных приборов при самой Главной палате, так как только при этих условиях возможно усовершенствование производства при соблюдении возможной экономии и желаемой скорости исполнения.

Для этого может послужить исходом та небольшая мастерская (слесарная), которая существует уже при Главной палате и назначается ныне исключительно для ремонта имеющихся приборов. Развивать ее деятельность, при незначительности отпускаемых на нее средств, нет возможности, так как она не может брать поставок для казны и для частных лиц и вследствие того не имеет возможности обзавестись всеми надлежащими станками, увеличить число мастеров и иметь должные запасы материалов. Поэтому ввиду пользы дела, имею честь ходатайствовать об развитии производства точных инструментов при имеющейся слесарной мастерской Главной палаты, оставляя ее в полном заведывании Палаты, но придав ей отчасти характер частных предприятий.

В этом отношении я позволил себе обратить внимание Сергея Юльевича на то, что лицом, заслужившим полное мое доверие, является слесарь Главной палаты Кварнберг, пробывший в ней около 8 лет и производивший по моим указаниям и под наблюдением г.г. инспекторов весьма ответственные работы. На оборудование им мастерской необходимыми приборами и станками потребовалось бы до 5000 руб., и отпущенная ему сумма, в виде процентной или беспроцентной ссуды, могла бы быть погашаема в течение 10 лет соответственными взносами. Дабы обеспечить надлежащее употребление этой ссуды, деньги могли бы быть выдаваемы частями под моим наблюдением, по мере действительной надобности, и самое покрытие долга казне производить путем вычетов из тех уплат, какие причитались бы Кварнбергу за работы, произведенные им по особым заказам для Главной палаты. Мне представлялось бы далее удобным, чтобы помещение мастерской оставалось при Палате, так как только в этом случае есть возможность следить за целесообразным, согласно назначению ссуды, употреблением этих средств, а с другой стороны, самые работы производились бы под постоянным наблюдением чинов Палаты, что важно во многих отношениях, главным образом, для преподания тех или иных указаний и для своевременного устра-

нения недостатков в работе, а также для быстроты исполнения. При этом Кварнберга и других ныне состоящих при Палате слесарей, должно оставить на современном положении для текущих работ Палаты, а для получаемых заказов Кварнберг должен иметь своих, им оплачиваемых вольных мастеровых.

Об изложенном имею честь сообщить на благоусмотрение вашего превосходительства с покорнейшею просьбою испросить ссуду для Кварнберга на указанных выше основаниях.

При этом имею честь присовокупить, что в иностранных государствах — при физических институтах, обсерваториях и учреждениях, подобных Главной палате, — почти везде существуют механические мастерские, состоящие в заведывании упомянутых учреждений и назначаемые, главным образом, для изготовления приборов, потребных этим институтам и лабораториям, но при этом мастерские не лишены права производить также частные работы с разрешения начальника учреждения. Благодаря такой системе достигается не только удешевление и усовершенствование производства точных инструментов, но и развитие этой отрасли промышленности, в каком отношении у нас пока сделано мало, а потребность в производстве точных приборов все более растет.

В России подобные мастерские при ученых учреждениях тоже существуют: так, мастерская при Николаевской пулковской обсерватории, действующая уже долгое время, и она-то дала возможность развить свои познания механику Бауеру, пользовавшемуся всемирной известностью При физических кабинетах университетов существуют также подобные мастерские: так при С.-Петербургском университете состоит мастерская Г. Францена, исполняющая многие работы и для Главной палаты. Многочисленность точных инструментов, необходимых Главной палате, дает основание полагать, что учреждение при ней подобной мастерской принесет весьма благоприятные результаты, а именно: удешевление и улучшение производства приборов и укрепление сего дела в России, чтобы по возможности уменьшить заказ оных за границей.

Покорнейше прошу принять уверение в отличном моем почтении и готовности к услугам.

[1902 или 1903 г.?]. *Д. Менделеев.*

М. Ф.
ГЛАВНАЯ ПАЛАТА
МЕР И ВЕСОВ
1 мая 1903 г.
№ 657

Центральный Государственный исторический архив в Ленинграде, ф. 22, оп. 2, дело 1715, л.л. 14—15.

В Отдел торговли [Министерства финансов]

На отношение от 28 апреля 1903 г. за № 2186, по вопросу о выверке колориметров, считаю долгом прежде всего сообщить, что по ст. 16, п. 7 «Положения о мерах и весах» на Главную палату возложена выверка множества разнообразных измерительных приборов, применяемых в торговле и промышленности, и Главная палата, кроме выверки основных мер: веса, длины и объемов, с 1899 г. уже успела организовать выверку электрических, манометрических, водомерных, термометрических и фотометрических приборов и производит подготовку выверки газомерительных, угломерных приборов и приборов для определения времени, прочими же в технике применяемыми приборами, а в том числе и колориметрами, доныне не могла заниматься по недостатку лиц и средств, а также ввиду примечания к ст. 16 означенного Положения.

Отныне, вследствие указаний, данных Министерством финансов, Главная палата включит в число предметов своих исследований также и изучение колориметров, но считает невозможным приступить к этому немедленно, главным образом, потому, что предмет этот вообще еще мало расследован, как видно, например, из того, что в программе Международного съезда в сем году (в Берлине) он поставлен на очередь для обсуждения. Притом колориметры, применяемые для исследования нефтяных жидкостей, в практике бывают весьма разнообразны, и вся шкала окраски определяется условными признаками. Для ближайшего осведомления о том, какой род колориметров и в каком виде применяется в настоящее время для сортирования русских нефтяных продуктов, в течение предстоящего летнего времени могут быть собраны надлежащие сведения на месте, в Баку, потому что туда отправляется для основных целей

Палаты старший инспектор оной Ф. И. Блумбах, которому это дело, между прочим, и будет поручено. Когда он доставит надлежащие сведения и Главная Палата будет иметь возможность подвергнуть сравнительному исследованию разные колориметры, она не преминет подвергнуть весь предмет полному изучению, здесь особо необходимому, когда дело идет о составлении инструкции и о надлежащей выверке. Таким образом, по моему мнению, вопрос о составлении рациональной инструкции для выверки колориметров в настоящее время Главная палата считает невозможным предрешать, и я полагаю поэтому, во-первых, до того времени, когда предмет будет обследован в Главной палате и составлена будет инструкция, продолжать обычное течение дел, т. е. выверять колориметры там, где поверялись до сих пор; во-вторых, если желательно, чтобы Главная палата ускорила свои работы по отношению к колориметрам, полезно было бы предоставить Главной палате особые для того средства, как для скорейшего приобретения разных образцов колориметров (штатные средства Главной палаты на сей год уже распределены), так и для возможности пригласить особое лицо для специального изучения вопроса о колориметрах. На годовое содержание такого лица, по моему мнению, было бы достаточно оклада в 1500 руб., а для приобретения колориметров разных систем и для организации исследований в сем направлении был бы достаточен единовременный расход в 2000 руб.

Если таковые средства не могут быть особо отпущены, Главная палата принуждена будет поставить вопрос о колориметрах в очередь целой суммы других вопросов о выверке измерительных приборов, применяемых в технике, и тогда придется на ближайшее время отложить дальнейшее расследование этого вопроса, так как средства и предметы занятий лиц Главной палаты до 1905 г. уже вполне распределены. После же 1905 г. Палате предстоит большая работа над устройством местных поверочных учреждений и организацией периодической выверки.

Управляющий Главною палатою мер и весов

Д. Менделеев.

М. Ф.
УПРАВЛЯЮЩИЙ
ГЛАВНОЮ ПАЛАТОЮ
МЕР И ВЕСОВ
30 сентября 1903 г.
№ 1284

Центральный Государственный исторический архив в Ленинграде, ф. 22, оп. 2, дело 1715, л.л. 18—19.

*Его превосходительству В. И. Тимирязеву**

Милостивый государь,
многоуважаемый
Василий Иванович!

Отношением от 25 сего сентября за № 14558, управляющий Отделом промышленности желает, чтобы Главная палата рассмотрела предложения Бакинского технического комитета за № 214, относящиеся к видоизменениям колориметра Штаммера и назначенные для улучшения показаний прибора при оценке достоинства керосина по его окраске.

Вопрос об исследовании колориметров Главною палатою поднят был еще весною текущего года на основании сношений Главного управления неокладных сборов и казенной продажи питей с Отделом торговли. Вследствие чего и поступил в Отдел торговли мой доклад от 1 мая 1903 г. за № 657, в котором заявлено, что вопрос об исследовании колориметров, представляющий много запутанного и недостаточно выработанного, до сих пор не входил в программу исследований, занимавших Главную палату, и что за недостатком средств на приобретение необходимых для сравнения колориметров, а также основных приборов, потребных для их исследований, и вследствие занятия чинов Палаты другими чередовыми исследованиями, рассмотрение и изучение колориметров отложено в настоящее время на неопределенный срок. Если же Главное управление желает, чтобы исследование этого предмета было ускорено и поставлено вне очереди, то в указанном докладе испрашивалось назначение единовременно 2000 руб. на приборы и ежегодно по 1500 руб. для лица, которое будет назначено для специального изучения вопроса о колориметрах. На такое

* — Товарищ министра финансов. [*Прим. ред.*].

представление до сих пор не последовало никакого ответа или распоряжения, и Палата, не имея под руками ни одного колориметра и никаких средств для изучения предлагаемых видоизменений колориметра Штаммера, считает невозможным дать заключение по вопросу, предложенному Отделом промышленности.

Считаю при сем случае долгом доложить вашему превосходительству, во-первых, о том, что вопрос о колориметрах имеет немалое торгово-промышленное значение при оценке сортов керосина, во-вторых, что предмет этот доныне сосредоточивался преимущественно в Бакинском техническом комитете, и, в-третьих, что Главная палата не может высказать компетентного заключения ранее, чем предмет будет изучен в нашем учреждении с научною полнотою. Оставлять предмет этот в том неопределенном положении, в каком он ныне находится, казалось бы, не следовало; так как испрашиваемые для сего средства малы сравнительно с большими оборотами, производимыми с русским керосином, то простейшим путем двинуть предмет вперед было бы назначение указанных выше специальных средств для Главной палаты. Источником для сих средств могли бы служить: или ассигнование потребной суммы из средств Главного управления неокладных сборов и казенной продажи питей, или предвидимые на сей 1903 г. остатки от сумм, отпускаемых на содержание местных поверочных учреждений.

Прошу ваше превосходительство принять уверение в совершенном почтении и готовности к услугам.

Д. Менделеев.

[На подлиннике помета:]

Отд. торг. Это очень серьезное дело; крайне желательно ввести в Гл. палате исследование колориметров. Прошу переговорить в Главном управлении неокладных сборов и доложить поскорее.

4 октября 1903 г. В. Т.

М. Ф.
УПРАВЛЯЮЩИЙ
ГЛАВНОЮ ПАЛАТОЮ
МЕР И ВЕСОВ

27 октября 1903 г.
№ 1497

Центральный Государственный исторический архив в Ленинграде, ф. 22, оп. 2, дело 1715, л. 24.

Его превосходительству М. М. Федорову *

Милостивый государь,
Михаил Михайлович!

На письмо от 25 октября сего года за № 6469 по вопросу об изучении колориметров и об установлении выверки оных имею честь сообщить вашему превосходительству, что на предложенные к ассигнованию Главным управлением неокладных сборов и казенной продажи питей 2000 руб. я считаю возможным:

во-первых, изучить колориметры, до сих пор употреблявшиеся в акцизном ведомстве, согласно правилам Министерства финансов от 6 февраля 1896 г.;

во-вторых, изучить системы различных других колориметров и на основании этого избрать из известных доныне колориметров наиболее пригодный для практики нефтяного дела,

и, в-третьих, приобрести не только необходимые для дела колориметры, но и все требующиеся для их изучения оптические и иные приспособления.

Вышеуказанные исследования предположено поручить инспектору Главной палаты М. В. Иванову и лаборанту А. М. Кремлеву.

Как первый результат таких исследований будет выработка инструкций для приема и выверки колориметров, пригодных для нефтяного дела, что же касается до установления постоянной выверки находящихся ныне в употреблении колориметров, то таковая поверка может быть производима

---

* — Управляющий Отделом торговли Министерства финансов. [*Прим. ред.*].

Палатой только по окончании означенных выше исследований и по выработке и утверждении подлежащих правил и таксы, а равно и увеличения личного состава Палаты.

Прошу Ваше превосходительство принять уверение в совершенном моем почтении и готовности к услугам.

Д. Менделеев.

Г-ну управляющему Министерством финансов
Э. Д. Плеске

ДОКЛАДНАЯ ЗАПИСКА О ПРЕОБРАЗОВАНИЯХ, НЕОБХОДИМЫХ В ДЕЛЕ ПОВЕРКИ МЕР И ВЕСОВ*

Ваше высокопревосходительство,

Эдуард Дмитриевич!

Начатое его высокопревосходительством, г-ном министром финансов С. Ю. Витте, 10 лет тому назад урегулирование как основных измерительных единиц всякого рода, так и торговых мер и весов, поручено было мне с тем, чтобы не только подвергнуть возможно точной научной разработке вопросы, относящиеся к указанным предметам, но и с тем, чтобы, по мере устройства Главной палаты мер и весов, безотлагательно озаботиться о повсеместном введении в России единообразия в деле мер и весов. Первые 5 лет действия вверенного мне учреждения протекли преимущественно в организации Главной палаты, в возобновлении прототипов и в установлении соответствия их с прототипами других стран, в особенности с международными метрическими мерами. В последние же 5 лет, особенно с конца 1899 г., когда начали устраиваться местные поверочные учреждения, дела Главной палаты значительно усложнились не только довершением ранее начатого, испытанием и подготовкою поверителей, назначаемых в местные поверочные учреждения, и устройством сих последних, но и установлением при Главной палате лабораторий и отделений для поверки разнообразных измерительных приборов, применяемых в промышленности: электрических, манометрических, водомерных, газомерительных, световых, термических, астрономических и т. п. Всемерно стараясь выполнить столь сложные задачи

* Издана отдельным печатным оттиском в 1903 г. [*Прим. Ред.*].

учреждения, отвечающего потребностям времени и требованиям, преследуемым другими просвещенными странами, я должен был неоднократно прибегать к испрошению новых ресурсов государственной казны для установления нового и очень сложного дела, в чем всегда и встречал полное содействие г-на министра финансов. Ныне, когда мнением Государственного совета определено, чтобы к 1905 г. были представлены Министерством финансов соображения о последовательном развитии местных поверочных учреждений во всей империи и периодической поверке, считаю долгом изложить вашему высокопревосходительству свои предположения о новых потребностях дела поверки мер и весов в России. Но, в отличие от всех прежних моих представлений, ныне я считаю уже ненужным прибегать к новым ресурсам Государственного казначейства, потому что неоднократно высказанные мною соображения о покрытии расходов сборами за поверку вполне оправдались,[1] и отныне можно иметь полную уверенность в том, что упорядочение всего дела мер и весов в России не только не потребует впредь новых расходов для своего завершения, но, быть может, даже даст свой небольшой чистый доход, хотя по существу дела можно было бы ограничиться в этом отношении и простым возмещением расходов, так как упорядочение дела мер и весов, применяемых в промышленности и торговле, влечет за собою урегулирование всяких промышленно-торговых отношений, чего требует развитие производительных сил страны. Однако указанного результата можно и впредь ожидать только при условии целесообразного развития всего дела поверки, для чего, на основании существующего опыта, требуется ввести некоторые изменения и усовершенствования как в деле местной поверки, так и в самой Главной палате мер и весов, ибо дела очень усложнились и страна беспримерно обширна.

В предлагаемой записке имею честь представить на благоусмотрение вашего высокопревосходительства свои в сем деле соображения, заметив при этом, что по проекту 1901 г.

---

[1] В текущем 1903 г. все 20 палаток доставили сборов 304 163 руб. в течение первых 7 месяцев, поверив 1 832 183 приборов. Такой сбор отвечает среднему месячному сбору около 43 000 руб., а потому годовой сбор должен достигать в текущем году примерно до 520 000 руб. или в среднем по 26 000 руб. на палатку; штатных же расходов в этом году ассигновано по Главной палате 83 850 руб., а по местным поверочным учреждениям 200 000 руб., а потому предвидится остаток около 237 000 руб.

предполагалось на годовое содержание Главной палаты и местных поверочных учреждений по всей империи расходовать около 1 400000 руб.; ныне же, вследствие разного рода упрощений и сокращений, изменив лишь некоторые незначительные стороны предмета, предполагается значительно сократить все расходы по делу мер и весов.

Соображения, далее излагаемые, относятся к устройству местной поверки, к довершению устройства Главной палаты мер и весов, к тем изменениям в законоположениях, которые соответствуют изложенным соображениям, и к расчету расходов и приходов, ожидаемых при установлении поверки во всей империи.

I. Местные поверочные учреждения

Система местных поверочных учреждений, узаконенная положением 4 июня 1899 г., сводится к тому: 1) что местные поверочные палатки открываются чаще всего при других казенных или общественных учреждениях, подчиняясь лишь в техническом отношении Главной палате мер и весов, и состоят из поверителей, испытанных и обученных сей последней; 2) что к каждой палатке приписывается свой район действия, в котором она выверяет не только вновь изготовляемые меры и весы, но и обращающиеся в торговле, озабочиваясь при сем последнем, чтобы поверка не препятствовала производству торговли и промыслов; 3) что предметы, подлежащие поверке, доставляются в местную палатку и только в исключительных случаях сия последняя выделяет от себя особые местные отделения и посылает отдельных поверителей; 4) что поверке подлежат вновь изготовляемые меры и весы, а также периодически, чрез каждые три года, все торговые меры и весы, и 5) что надзор за правильностью действия всех местных поверочных учреждений возлагается исключительно на Главную палату мер и и весов. Такой порядок оказался вполне соответствующим начальному периоду всего дела и особенно поверке вновь изготовляемых мер и весов, так как самые палатки основывались преимущественно в местах, занятых таким изготовлением. Опыт, однако, показал не только малую практичность, но и полную фактическую невозможность в некоторых случаях доставления в местную палатку всяких мер и весов, применяемых в торговле и промышленности, потому особенно, что некоторые предметы очень громоздки (например большие весы) и некоторые торговцы обладают лишь

единичными экземплярами, которые нельзя отлучать от места их применения. Эти соображения привели постепенно к тому, что палатки принуждены посылать поверителей в разъезды, что сперва делалось исключительно за счет лиц, у которых ведется поверка, а теперь отчасти и за счет казны, а именно, например, при требовании местного начальства для выполнения внезапных ревизий мер и весов, чем ведают не только общее полицейское управление, но и казенные палаты. Командировки чинов местных палаток в места применения мер и весов должны сделаться особо учащенными, когда будет введена общая поверка всех обращающихся в промышленности и торговле мер и весов, дабы не нарушать частных интересов отправкою мер в отдаленные палатки. Притом, устройство многочисленных поверочных палаток с небольшими районами, что необходимо для периодической поверки по современной системе, неизбежно сопровождалось бы усилением расходов не пропорционально доходам, так как оборудование каждой отдельной палатки всеми соответственными приспособлениями и оплата в каждой палатке не только содержания техников-поверителей и служителей, но и лиц, заведующих хозяйственною стороною палаток, сопряжены с значительными расходами. По проекту 1901 г. предполагалось на всю империю устроить 150 постоянных палаток; по проекту же, ныне представляемому, когда будет устроено 12 подвижных вагонов-палаток и поверители будут сами объезжать многие местности, — предполагается число местных поверочных учреждений ограничить на ближайшие годы всего 72 палатками, что и должно привести, главным образом, к сокращению общих расходов. Такое видоизменение ранее предположенного порядка обусловливается более всего тем, что предстоящим главным занятием местных поверочных учреждений будет поверка на местах торговых мер и весов, имеющихся уже в обращении, а поверка вновь изготовляемых приборов станет лишь на втором плане; производство же новых мер, для которых особенно нужны постоянные палатки и их отделения, существует лишь в сравнительно немногих местностях России, как оказалось при расследованиях, произведенных командируемыми инспекторами Главной палаты.

Чтобы избежать рождающихся неудобств, было бы во всех отношениях целесообразным, прежде всего, умножить число подвижных палаток, помещающихся в особых железнодорожных вагонах, первый образец которых ныне разрешен Государственным советом, а главное — увеличить подвижность

лиц, занятых поверкой. Для этой цели мне кажется совершенно необходимым разделить всю империю на 12, или около того, больших поверочных округов, а именно: Петербургский, Московский, Рижский, Варшавский, Киевский, Одесский, Харьковский, Казанский, Кавказский, Ташкентский, Западно-Сибирский и Восточно-Сибирский. В каждом округе учредить, смотря по размерам округа, по 2—8 (в среднем по 5) палаток сверх центральной окружной и в том числе к каждому округу приписать свой вагон-палатку. Заведующий таким округом окружной поверитель будет распределять, смотря по местным и временным надобностям, поверителей, приписанных к палаткам, в те или другие поездки по местам, где должна производиться периодическая поверка. В некоторых округах по их обширности, следовало бы иметь сверх окружного поверителя — особого помощника, ввиду того, что окружной поверитель сам должен совершать многие поездки.

Второе, весьма существенное обстоятельство, оказавшееся на практике, показывает, что в деле поверки мер и весов в будущем должно ждать большого числа подлогов разного рода, так как уже ныне имеются случаи появления поддельных клейм (а карательные законы для сего мало выработаны) и воровства оных, что может грозить при современном порядке вещей значительными убытками доходов и, что не менее важно, усложнением всех дел, касающихся подобных злоупотреблений.

Третье обстоятельство, побуждающее видоизменить современный порядок местной поверки, определяется долгосрочностью трехлетнего промежутка периодической поверки, так как опыт показывает, что во множестве случаев, например при взвешивании на открытом воздухе, в мясных и рыбных лавках, при небрежном обращении с гирями и весами и т. п. главнейшие[1] измерительные приборы — весы и гири — оказываются не удовлетворяющими законным требованиям уже чрез 1 год после поверки, что известно и в других странах и что побудило Францию, а за ней и некоторые другие страны, установить *ежегодную* поверку мер и весов, регистрируемых в каждом торгово-промышленном заведении. По моему мнению, внушенному опытом, подобный же порядок должно с течением времени устано-

[1] В 1902 г. в общем проверено 1 682 934 предмета, из них весов 181 328, гирь 1 371 241, прочих предметов 130 365; следовательно, весы и гири составляют преобладающую часть.

вить и у нас, если желательно, чтобы обращающиеся в практике меры и весы были действительно в надлежащей степени точными. Добросовестные торговцы сами удостоверяют, что во многих случаях ежегодная смена гирь совершенно необходима, например в мясных лавках.

Но при введении ежегодной поверки всех зарегистрированных мер и весов нужна совершенно иная, чем ныне, постановка местных поверочных палаток, и много предметов будут поверяться разъезжающими по стране поверителями, число которых, при проектируемом положении предмета, нельзя считать менее 500—700 человек на всю Россию. Доныне Главная палата не встречала особых затруднений в выборе местных поверителей из числа лиц, выдержавших испытание, потому что число их еще не велико, менее 100 человек, но в будущем, когда нужно будет раз в 7 больше поверителей, нельзя надеяться на удачность выбора, особенно при том доверии, которым должны пользоваться командируемые поверители. Для устранения этого предвидимого неудобства было бы особенно полезно воспользоваться примером Франции, т. е. зарегистрировать все подлежащие выверке меры и весы и собирать с оных ежегодную плату за поверку, которую производить объездными поверителями, так как при этом могут быть устранены поводы незаконных действий денежного свойства, а включение в регистровую запись поставить в основание всей системы. Если, при этом, в местных палатках поверять по значительно уменьшенной таксе вновь изготовляемые меры, подлежащие частой порче, особенно гири и весы, то уменьшатся всякие поводы к незаконным действиям, сопряженным с денежными сборами, и останутся трудности только в технике предмета, за чем надзор во всех отношениях более удобен и возможен. При таком порядке дел, конечно, является вопрос о размерах обложения за ежегодную периодическую поверку. На первый взгляд кажется, что можно ограничиться одною третью современной таксы, потому что вместо 3-летней поверки установится ежегодная. Но, принимая во внимание, во-первых, то, что вновь изготовляемые обыкновенные торговые гири и весы будут поверяться по значительно уменьшенной таксе, и, во-вторых, что поверка имеющихся в обращении мер и весов будет преимущественно производиться без доставки в палатку, можно утверждать с уверенностью, что половинная против современной такса будет выгоднее ныне узаконенной для промышленников и торговцев и безубыточною для казначейства. В этом отношении должно, конечно, отличать поверяемые предметы раз-

ного рода и для того пересмотреть самую таксу. Но несомненно, что предлагаемый порядок, прежде всего, обеспечит правильность дохода и будет содействовать, вследствие большой дешевизны поверки новых гирь и весов, усовершенствованию всего производства мер и весов, особенно кустарного, так как мелкие производители ныне стеснены предварительною платою за поверку и чрез то попадают в руки скупщиков, обладающих достаточным капиталом.

Таким образом, при проектируемом способе ведения ежегодной поверки гирь и весов, центр тяжести всего дела сведется на составление регистров, или списков всех заведений, промышленных и торговых, применяющих меры и весы, и к перечислению в каждом из них имеющегося числа применяемых измерительных приборов, для чего в Положение о мерах и весах следовало бы включить требование о доставлении окружным поверителям или поверочным палаткам сведений о количестве находящихся мер и весов в каждом торговом и промышленном заведении, подобно соответственной статье (ст. 44) Пробирного устава. Периодическую поверку некоторых из мер можно было бы оставить при этом трехлетнею и за такие меры взыскивать полную таксу как для новых, так и при периодической поверке. Вследствие прироста народонаселения и его оборотов список всех подлежащих поверке мер и весов будет ежегодно восполняться, и число подлежащих поверке мер и весов увеличиваться. Обязанность составления списков должно возложить в основании на окружных поверителей, которые будут проверять списки по сведениям, доставляемым местными поверителями и казенными палатами. Такие регистровые списки, между прочим, окажут несомненную услугу и всей статистике промышленности и торговли. Гири и весы, находящиеся в списке, должны оплачиваться по таксе ежегодной поверки или единовременно с внесением торгово-промышленных податей или, лучше, особыми взносами в местные казначейства, квитанция которых будет служить объездному поверителю указанием на то, какие меры и весы он должен при объезде вновь поверить у каждого торговца и промышленника. Здесь лежит центр дела в отношении полной невозможности прямых незаконных действий денежного свойства (например, подложных клейм, воровства клейм и т. п.). Меры и весы, оказавшиеся не удовлетворяющими законным требованиям, должны быть при этом устраняемы из обращения и заменяемы или новыми, заклейменными, или исправленными, поверяемыми в палатке или объездными поверителями.

Внезапные ревизии чинами округа или Главной палаты будут при этом служить совершенно достаточным ручательством в законности действия объездных поверителей как в отношении техники, т. е. точности поверки, так и в отношении к полноте составляемых списков. Меры и весы, найденные не внесенными в списки, должны оплачиваться особыми дополнительными взносами, и мне кажется, что при этом следует налагать штрафы только в том случае, когда будут признаки заведомого сокрытия мер и весов или продолжительного их применения без внесения в списки.

При современном порядке дел главное ведение местною поверкою возложено на Главную палату, но очевидно, что при распространении поверки на всю Россию Главная палата была бы не в силах выполнить такую задачу. Лица же, состоящие при современном порядке дел в местных поверочных учреждениях, едва и ныне могут исполнить сложные технические задачи, им представляющиеся, особенно потому, что кроме ходячих предметов, подобных обычным весам, гирям и т. п., им предстоит при периодической поверке изучать специальные приборы, подобные вагонным весам, весам для механической развески, счетчикам объемов и т. п. При предлагаемом порядке для поверки подобных исключительных измерительных приборов будут назначаться и особые поверители, с оплатою торговцем, сверх узаконенной таксы, расходов по их поездкам, если приборы не будут доставлены в местную палатку.

Далее очевидно, что при предлагаемом порядке ведения дел имеется в виду нормальное течение поверки, а не тот первый период, который наступит при учреждении в крае поверочного округа.

По соображениям, отчасти развиваемым далее, я полагаю, что нормальное течение всех дел может быть начато после 1910 г., если в период от начала 1905 г. до конца 1909 г. будут учреждены все округа и палатки. По расчетам, далее приводимым, видно, что дело учреждения поверки по всей империи в указанный период может быть произведено за счет доходов, поступающих от уже существующих палаток, и даже в это время может получаться небольшой доход, если до 1910 г. будет сохранена ныне действующая такса и уменьшенная такса начнет действовать только после 1910 г., до тех же пор сохранится существующий порядок, т. е. периодическая поверка будет производиться чрез 3 года и оплачиваться ныне действующею таксою. Если бы ежегодная поверка и уменьшенная такса были учреждены

сразу, то в период 1905—1910 гг. пришлось бы вносить в ежегодные сметы крупные суммы на учреждение новых палаток. Но для того чтобы вышеуказанный благоприятный результат мог осуществиться, необходимо, чтобы была предоставлена некоторая свобода в распоряжении суммами, поступающими от сборов, так как в действительности все же можно ожидать разного рода неожиданностей и потребностей в новых улучшениях, а для того, чтобы достигнуть этого наиболее простым способом, казалось, было бы чрезвычайно полезным в некотором отношении обособить счеты по делу мер и весов и дать г-ну министру финансов право распоряжаться суммами, поступающими от сборов за поверку мер и весов, по своему усмотрению. Когда все дело окончательно установится (около 1912 г.), тогда, может быть, будет возможным включать доходы и расходы по поверке мер и весов в общую государственную смету обычным порядком, хотя и впредь в таком деле, как выверка измерительных приборов, должно ждать многих новых настоятельных требований, не могущих удовлетворяться без экстраординарных расходов. Составление специальных смет по этому делу во весь учредительный срок, т. е. до 1912 г., казалось, следовало бы поручить Главной палате, по Отделу торговли, поставив обязательством не спрашивать никаких дополнительных средств на весь этот период, а по возможности доставлять доход и в течение оного, чтобы таким путем погасить первоначальные затраты (1893—1902 гг.), сделанные при учреждении Главной палаты и первых местных поверочных учреждений. Ввиду невозможности в учредительный срок (1905—1912 гг.) предвидеть все могущие встретиться случайности, во всяком случае желательно, во-первых, предоставить министру финансов распределять назначенные средства по разным статьям, смотря по надобности, и, во-вторых, ныне же прибавить к предвидимым расходам некоторую сумму (от 12 до 25 тыс. руб. в год) на расходы, сопряженные с преобразованием и не предвидимые предварительною сметою.

В предлагаемом порядке устройства повсеместной поверки мер и весов наибольшее значение будет иметь исполнительность не только чинов Главной палаты, но и окружных и местных поверителей. Но для того, чтобы достигнуть с уверенностью такой исполнительности, мне кажутся уже недостаточными выбор и назначение лиц Главной палатой и оплата всех их лишь по найму, потому что ответственность избранных лиц увеличится с чисто административной

стороны, а не с одной технической, как ныне по преимуществу. По этой причине я думаю, что окружных поверителей и их помощников должно обеспечить всеми служебными правами, включая в то число чины и пенсию. Казалось бы, однако, возможным для местных поверителей, включая и разъездных, оставить порядок приглашения по найму, который существует и ныне, если для этих местных поверителей будет учреждено страховое пенсионное обеспечение, подобное тому, которое установлено для лиц, служащих на казенных железных дорогах, при Главном управлении неокладных сборов и казенной продажи питей и др.

Главная палата, избирая и распределяя поверителей, принимает и должна принимать во внимание не только техническую подготовку лиц, но и их нравственные особенности. Но большинство избранных лиц принадлежит к числу молодых людей, а они, обзаведясь семьями и стареясь, неизбежно должны будут заботиться о будущности своей и своей семьи, а потому наиболее способные, опытные и подходящие лица будут стремиться к отысканию положения, более оплачиваемого, или, по крайней мере, более обеспеченного в будущности. Для удержания таких-то лиц при деле поверки было бы полезно предоставить им права обязательного страхования, не предоставляя прав на чины и казенные пенсии. Расходы на страхование, особенно значительные при начале учреждения страхования, должны возмещаться не только из содержания, получаемого самими служащими, но отчасти из общих доходов, получаемых от поверки мер и весов, так что и в этом отношении, по моему мнению, никаких особых расходов казначейства не должно быть считаемо. При таком порядке дел, если сохранен будет ныне существующий порядок выбора и назначения лиц Главною палатою, можно надеяться на подбор добросовестных и опытных исполнителей дела, что играет, конечно, первейшую роль в таком новом деле, которое учреждается повсеместно в России, так как тяготы, приходящиеся на долю местных поверителей, а особенно разъездных, судя по имеющимся уже сведениям, весьма значительны, и от их исполнительности зависит весь доход дела и его важное значение. Страхование оплачиваемых по найму служащих по делу мер и весов, по собранным сведениям, оказывается тем возможнее, что общее число всех таких служащих должно достичь до 700 лиц к 1910 г., а затем, без сомнения, вероятно, будет еще увеличиваться. Служебному же и пенсионному положению будет вновь подчинено по делу мер и весов по предлагае-

мому порядку, сверх лиц, состоящих на службе в Главной палате, только 20 лиц, в 12 поверочных округах (12 окружных поверителей и 8 их помощников), и средства, необходимые для пенсии всем лицам, без сомнения, доставятся избытками доходов над расходами по всему делу мер и весов. Таким образом, включая страхование и пенсии, все дело мер и весов при предлагаемом порядке не будет стоить никаких особых расходов казначейству, даже может доставить свой, хотя и небольшой доход. Расход понесет лишь та доля промышленности, торговли и перевозки, которая, несомненно, выиграет от правильной и сравнительно дешевой поверки всех мер и весов. В этом отношении считаю не излишним привести соображения одного мелочного торговца, уплатившего за исправление, возобновление и поверку применяемых в лавке гирь, мер и весов около 20 руб. и сообщившего мне лично, что он уже в первую неделю погасил этот расход на том одном, что весы стали чувствительнее и «походец», который торговцы привыкли показывать покупателям, так уменьшился на всех товарах, что это в одну неделю возвратило ему 20 руб. Вообще я полагаю, что не только заботы о правильности торговли, но и прямые выгоды добросовестных торговцев и промышленников заставляют смотреть на сравнительно ничтожные расходы по поверке, как на дело прогрессивное во всех отношениях. Считая, что в какой-либо мелочной торговле применяются двое весов и к ним соответственный разновес до пудовых гирь, придется торговцу платить по половинной таксе ежегодно лишь около рубля, а одно возобновление испорченных в год гирь и весов будет много превышать такой расход. Если считать, как показано далее, весь доход за поверку всех мер и весов в России равным даже 2 млн руб. в год, то это составит менее $1^1/_2$ коп. на жителя в год, и каждый добрый хозяин, несомненно, согласится с тем, что ручательство в верности мер и весов даст ему гораздо бо́льшую годовую выгоду, т. е. правильно организованная поверка отвечает интересам как производителей, так и потребителей, т. е. всего населения империи.

Польза от надлежащей поверки мер и весов, применяемых в торговле и промышленности, определяется не только частою повторяемостью поверки, но и степенью ее соответствия с требованиями закона, т. е. качеством лиц и приборов, служащих при поверке, а так как ради удобства торговцев и промышленников большинство применяемых ими мер и весов предполагается поверять на месте, то очевидно, что при ежегод-

ной поверке гирь и весов необходимо иметь значительное число лиц, производящих поверку на местах, и при каждом из них полный комплект точных и периодически поверяемых чинами Главной палаты измерительных приборов. Эта техническая сторона предмета и должна составлять первейшую заботу центрального учреждения, т. е. Главной палаты, потому что от нее зависит то единообразие мер и весов, соблюдение которого поставлено на первый план в обязанностях этого учреждения. С своей стороны, я не думаю, что здесь встретятся какие-либо существенные затруднения, если первоначальное обзаведение измерительными приборами для поверителей и избрание самих поверителей будут произведены с надлежащим вниманием. Но я полагаю, что и в этой стороне предмета нельзя вперед предвидеть множества предстоящих в учредительный период мелочей, особенно относительно перевозки поверительных приборов по грунтовым дорогам. Если бы, ради осторожности, обзавестись излишне значительным числом поверочных приборов, то это могло бы стоить в период обзаведения (1905—1912 гг.) чересчур больших расходов и не могло бы сделаться в краткий период времени. Здесь нужна мера, определяемая только опытом и размерами поверочных округов. Высказанные соображения составляют одну из причин того, чтобы требовать в опытный период, до 1910—1912 гг., некоторой свободы в распоряжении средствами, назначаемыми для поверки и почерпаемыми от нее же самой. В этот период усиленной учредительной деятельности в разнообразных и отдаленных концах России Главная палата не может довольствоваться тем числом ее чинов, которые ныне полагаются по штату, как это развивается подробнее во второй главе этой записки. Но и после учредительного периода, судя по опыту уже существующих местных палаток, неизбежно необходим усиленный, объединяющий надзор чинов Главной палаты, тем более, что техника всего дела поверки, как и самое производство измерительных приборов, хотя медленно, но постоянно совершенствуются, и такие усовершенствования только при содействии центрального органа могут быстро распространяться в общее пользование.

Оканчивая свои новые предположения, относящиеся к местной поверке, считаю не излишним обратить внимание вашего высокопревосходительства на то, что полная регистрация всех измерительных приборов, применяемых в стране, и, особенно, ежегодное восполнение списков могут представить особо важный статистический материал, служащий для

сравнительного определения относительной степени развития видов промышленности и торговли в разных краях империи по отношению к числу жителей тех краев. С другой стороны, предлагаемые видоизменения поверки, несомненно, послужат поводом к широкому и даже повсеместному распространению мастерства, касающегося измерительных приборов, так как несомненно, как показывает уже и современный опыт, что применяемые меры и весы придется повсюду исправлять и доводить до законной точности. Возникновения и распространения необходимых для сего слесарно-механических мастерских можно ожидать повсеместно, так как они могут начинаться с самых мелких размеров, а развиваясь — могут послужить ядром для зачатка широкого распространения у нас механической обработки металлов и производства точных приборов.

II. Дополнения, необходимые для Главной палаты мер и весов

Служа центром всей деятельности, касающейся поверки мер и весов, Главная палата имеет по существу дела 5 разнородных предметов занятий: 1) хранение, возобновление, изучение и периодическую поверку основных прототипов, что в первые годы деятельности Главной палаты составляло ее основное занятие и что по закону (ст. 729) должно продолжаться и впредь; 2) учреждение поверки всяких измерительных приборов, применяемых в промышленности и торговле, для чего при Главной палате устраиваются специальные лаборатории, изучаются методы и принимаются, сперва по желанию потребителей, а потом по требованию закона, всякие измерительные приспособления: весовые, меры длины и объемов, электрические, манометрические, астрономические, механические, световые, теплотные, звуковые (камертоны), судоизмерительные (меры Мурсома) и тому подобные приборы; 3) устройство и наблюдение за ходом дел в местных поверочных учреждениях, доныне поверяющих исключительно только меры веса, длины и объемов, но с течением времени долженствующих производить поверку и других приборов для специальных измерений, для каковых целей Главная палата должна постоянно посылать своих чинов во все края России с набором особо тщательно выверенных приборов; 4) отчетность по всем местным поверочным учреждениям, которая должна сильно увеличиваться при исполнении периодической поверки и регистрации всех изме-

рительных приборов, применяемых в империи, и 5) испытание и обучение измерительным приемам лиц, желающих получить право на звание местных поверителей.[1]

Такая сумма дел могла быть выполняема доныне штатом лиц Главной палаты, состоящим из управляющего, его помощника, механика, 10 инспекторов, секретаря, бухгалтера и экзекутора, при содействии лаборантов по найму, приглашаемых управляющим на отпущенную сумму 12 000 руб., назначаемых для найма лаборантов и мастеровых. В предстоящем будущем такой состав Главной палаты, без сомнения, будет недостаточен для возможного выполнения всех дел с надлежащим совершенством, потому особенно, что специальные условия дела требуют от каждого из участников не только предварительной суммы подготовительных знаний, но и постоянного следования за успехами разнообразнейших отраслей наук, так как в самой технике предметов ныне весьма быстро распространяются усовершенствованные приемы измерений, особенно касающихся специальных технических приборов. Лица, которым поручается заведывание специальными лабораториями, должны при том очень часто тратить много времени на изучение вновь предлагаемых приборов и приемов, что сопряжено с подробнейщими научными исследованиями, тем более, что всякие единицы для специальных измерений, например, световых, термических, электрических и т. п., требуется установить в самой Главной палате со всем возможным ныне совершенством, исходя из основных прототипов, и постоянно следить за точностью исходных единиц. Не входя в подробности чисто специального свойства, имею необходимость доложить вашему высокопревосходительству, что при предстоящем ходе дел, когда вместо факультативного представления специальных приборов к поверке будет установлена обязательная поверка всех обращающихся приборов, состав лиц наших лабораторий окажется совершенно недостаточным; а потому имею честь ходатайствовать об том, чтобы число штатных чинов и лаборантов было впредь увеличиваемо по мере действительной потребности и по мере возрастания количества выверяемых приборов, что при оплате за поверку даст свои текущие средства для возмещения требуемых расходов.

---

[1] С 1899 г. по 12 июня 1903 г. подверглось испытанию 129 лиц, получили права поверителя — 121, назначено поверителями 88, из них 6 оставили службу.

В специальных лабораториях, уже учрежденных[1] в Главной Палате и имеющих впредь учредиться,[2] необходимо, судя по опыту, иметь лиц, неотлучно занятых этого рода специальными лабораториями, так как ныне существующий порядок (специальные лаборатории поручаются инспекторам) будет совершенно неприменим, когда возрастет обязательное число поверяемых в Палате специальных приборов и число местных учреждений. Для этой цели казалось бы полезным отличить лиц, занятых в специальных лабораториях, от инспекторов и назвать первых заведующими лабораториями Главной палаты. Для таких заведующих, мне кажется, достаточно учредить 5 новых штатных мест, причисляя к числу их и существующую ныне должность механика Палаты, так что в сумме получится 6 заведующих лабораториями. Необходимость таких заведующих вытекает особенно из следующих соображений. Точнейшая выверка исходных весовых и линейных мер должна быть поручаема лишь лицам, особо подготовленным к этого рода исследованиям, повсюду производимым лишь лицами с исключительной подготовкой, так как точнейшее взвешивание, где определяются стомиллионные доли веса (ст. 714, Уст. торг., изд. 1903 г.), и точнейшее компарирование, где определяются миллионные доли (ст. 716), могут быть производимы лишь при соблюдении множества очень сложных условий. а именно такие степени точности необходимы не только при выверке прототипов, но и основных их копий, что входит в предмет постоянных занятий Главной палаты мер и весов. Столь специальное дело, как поверка электрических приборов, применяемых в практике и служащих способом оценки многомиллионных сделок, требует суммы лиц, специально знакомых с разнообразнейшими электрическими измерителями (вольтметры, амперметры, уаттметры и тому подобные «электрические счетчики»), и во главе их должно поставить лицо, специально подготовленное по этой отрасли физики. Водо-и газомерительные приборы составляют также предметы, на счет которых делаются многомиллионные сделки. Лаборатории сего рода уже учреждены в Палате

---

[1] Электрическая, термометрическая, светоизмерительная, манометрическая, водомерная, газомерительная и астрономическая.

[2] Геодезическая, особенно по требованиям, возникающим в военном и морском министерствах, колориметрическая и калориметрическая, по требованиям Главного управления неокладных сборов и казенной продажи питей, а также лаборатория для угломерных приборов, ареометров, тонометрическая (камертоны) и др.

и поручены ныне особому ведению механика Палаты. Манометрические, световые и термические измерения, возрастая явно на глазах в своих приложениях и значении, требуют особых лабораторий и специалистов, подготовленных во многих отношениях, так что для этих целей совершенно необходим особый заведующий лабораторией. Учрежденная при Главной палате астрономическая обсерватория назначается преимущественно для установки точного времени, которое по требованию предместника вашего высокопревосходительства должно передаваться из Главной палаты во дворец государя императора и в Министерство финансов. Следить за таким ответственным делом необходимо должен, и при том с настойчивым постоянством, специалист астроном, как 5-й заведующий лабораторией, ему же можно поручить и выверку угломерных приборов и хронографов. Сверх того, в Главной палате является настоятельная надобность в изучении и поверке множества других разнообразных приборов, например служащих для оценки качества нефтяных, хлебных (пурки), металлических (калибры) и тому подобных товаров, в приложении к которым очень часто необходимо совместное химическое исследование, для чего ныне высочайше разрешено оборудовать при Главной палате химическую лабораторию. Для этой цели нужен такой специалист, который был бы ближе знаком с химией и техникой. Тем же заведующим лабораториями возможно поручить и заведывание такими основными лабораториями, как весовая, компараторная и выверяющая приборы, отправляемые в местные палатки. При современном положении предмета вышеперечисленные дела поручаются инспекторам, которые по существу дела и по самому своему названию обязаны преимущественно инспектировать местные поверочные учреждения. При 20 ныне существующих палатках и при поверке лишь факультативно специальных приборов инспекторские разъезды занимали время примерно 5 инспекторов. В будущем же, когда число местных палаток возрастет почти в 4 раза и, что всего важнее, когда будет введена всеобщая периодическая поверка, по моим соображениям, должно иметь при Главной палате, по крайней мере, 15 инспекторов, почти исключительно занятых инспекторскими обязанностями в местных поверочных учреждениях. Если будут учреждены заведующие лабораториями, то на ближайшее время, до 1910 г., я считал бы, однако, возможным, в виде опыта, ограничиться 10 инспекторами, а именно 5 старшими и 5 младшими, как и ныне. Что касается до оклада заведующим лаборато-

риями и инспекторам, то я полагаю: 1) всем 6 заведующим назначить по 2700 руб. жалованья и столовых и квартиру натурой, 2) старшим инспекторам жалованья, столовых и квартирных по 3200 руб., считая в том числе, квартирных по 700 руб., как ныне, 3) младшим инспекторам жалованья, столовых и квартирных по 2100 руб., считая квартирные по 400 руб. Некоторое небольшое увеличение инспекторских окладов, проектируемое ныне, определяется преимущественно тем, что опыт показал недостаточность существующих окладов для удержания наидостойнейших лиц.

Количество работ, выполняемых в Главной палате, должно возрастать с течением времени, в особенности потому, что учреждаются новые специальные лаборатории, увеличивается число доставляемых для поверки приборов и число лиц, подлежащих испытанию, и возрастает количество поездок лиц Главной палаты по требованиям частных лиц, например, для поверки электрических счетчиков, водомерителей, специальных весовых приборов и т. п. Обязанности этого рода несутся преимущественно лаборантами Главной палаты, и потребность в них ежегодно возрастает. В текущем году уже нельзя было бы довольствоваться существующими ныне лаборантами, если бы часть их обязанностей не возлагалась на свободных от других дел поверителей, состоящих при Главной палате, суммы для содержания которых назначены законом 18 марта 1902 г. Если ныне, при факультативной поверке электрических счетчиков, в лаборатории, для сего назначенной, можно довольствоваться 3 лаборантами и 2 запасными поверителями, то число помощников должно быть увеличено, по крайней мере, в 2 раза, когда будет обязательная поверка всех обращающихся в С.-Петербурге электрических счетчиков. Точно то же относится и ко всем другим лабораториям. Комплект лаборантов должен быть увеличен астрономами-наблюдателями при астрономической лаборатории, когда начнется постоянная поверка часов. Новое большое компараторное отделение, еще не окончательно оборудованное, потребует своих лаборантов,[1] так же как и умножение поверки приборов, назначаемых для местных поверочных па-

[1] Геодезический отдел Генерального штаба (и даже Финляндское геодезическое отделение), Межевой корпус, Артиллерийское управление, Министерство путей сообщения и тому подобные учреждения, нуждающиеся в точно выверенных мерах длины и калибрах, уже доныне требовали от Главной палаты очень много работ этого рода, а когда окончательно оборудуется новое компараторное отделение, могущее поверять меры длиною до 4 м, количество работ, сюда относящихся, должно не-

латок. Из отпускаемых ныне 12 000 руб. на наем лаборантов и мастеровых может выделяться примерно около $4^1/_2$ тыс. руб. на мастеровых и около $7^1/_2$ тыс. руб. на лаборантов в год, а на ближайшее время до 1910 г. я просил бы увеличить эту сумму, по крайней мере, на 6000 руб., ввиду крайней необходимости пригласить, по крайней мере, 6—7 новых лаборантов.

С передачей в Главную палату (из Отдела торговли) всей денежной отчетности по делам мер и весов и с учреждением во всей империи поверочных палаток — бухгалтерская часть значительно усложнится, а потому покорнейше прошу, во-первых, увеличить оклад бухгалтера, ныне равный 1500 руб., до 1800 руб., при квартире в натуре, и, во-вторых, увеличить средства, отпускаемые для канцелярии, дабы стало возможным пригласить ему помощника по найму.

В потребностях Главной палаты ныне ощутителен недостаток приемщика, принимающего доставляемые в Палату для выверки приборы. Ныне это исполняется инспекторами и лаборантами, что отнимает от занятий очень немало времени, когда не существует еще обязательной поверки электрических счетчиков, манометров, водомеров и т. п., а когда они обязательно будут выверяться, наплыв будет велик и приемка станет очень сложною, так как для каждого доставляемого прибора должен быть открыт свой счет, выдана расписка, наложены клейма и выданы свои свидетельства. Поэтому имею честь ходатайствовать об увеличении числа штатных лиц приемщиком, включив его в штат и назначив ему оклад в 1000 руб., при квартире в натуре.

Уже в прежнем своем ходатайстве 1901 г. я испрашивал увеличение канцелярии Палаты назначением секретаря и его помощника. Государственный же совет, при рассмотрении проекта в 1902 г., на опытный срок до 1905 г. ограничился назначением одного секретаря с окладом в 2000 руб., ничего по существу не возразив против необходимости иметь в будущем 2 штатные должности для делопроизводства. Оно, несомненно, должно сильно возрасти при устройстве поверки во всей империи, а потому имею честь возобновить ходатайство об учреждении, сверх ныне существующей должности секретаря, еще должность его помощника, назначив первому жалованья и столовых 2200 руб., а второму, т. е. помощнику секретаря, 1500 руб., обоим при квартире в натуре.

временно возрасти, тем более, что проектируемый компаратор должен обладать длиною и свойствами совершенно исключительными и ни в каких лабораториях сего рода еще не выполненными.

При увеличении числа служащих в Главной палате и разъездов чинов оной по всей России необходимо также увеличить отпускаемые ныне средства для командировок, на канцелярские расходы, печатание отчетов и для пособия и наград. Ныне для командировок отпускается 5000 руб., а при учреждении поверки во всей России число командировок должно значительно увеличиться, и я прошу отпускать до 1910 г. на командировки по 8000 руб., потому что опыт показал большую пользу, а по временам и полную необходимость в частых командировках, а при увеличении числа инспекторов и числа командировок потребность эта должна возрасти в значительной мере. На награды и пособия ныне отпускается 5000 руб.; имею честь ходатайствовать об увеличении этой суммы до 7000 руб.

Сверх всего вышеуказанного, ввиду опыта последних лет, покорнейше прошу увеличить отпускаемые по штату средства на отопление и ремонт зданий Главной палаты и на наем служителей и дворников. С увеличением дел в Главной палате необходимо умножить число служителей, так как в некоторых поездках, сопряженных с перевозкою громоздких измерительных приборов, инспекторов Палаты должны сопровождать опытные служителя Палаты, и специальные лаборатории требуют умножения числа служителей. На предмет служителей ныне расходуется около 4000 руб., и я считаю необходимым увеличить сумму эту, по крайней мере, на 2000 руб.

Покорнейше прошу также увеличить размер отпускаемых сумм на ремонт зданий. Доныне два из трех зданий Палаты были вновь выстроены, а потому ремонта почти не требовали. В ближайшем же будущем необходимо увеличить расход на этот предмет, по крайней мере, на 1500 руб. ежегодно, так как уже ныне при необходимости разных мелких добавочных переделок и поправок — отпускаемая сумма оказывается явно недостаточною, что задерживает удовлетворение многих потребностей Главной палаты.

На канцелярские расходы и печатание отчетов ныне отпускается по 4500 руб.; покорнейше прошу увеличить отпуск до 6000 руб.

Сумма в 7500 руб., отпускаемая в 1899 г. для ремонта измерительных приборов, приобретения новых и для закупки материалов, употребляемых в мастерских и лабораториях Главной палаты, очевидно, будет отныне уже недостаточной, так как число лабораторий и расходы на них ежегодно возрастают, а потому покорнейше прошу увеличить эту сумму,

по крайней мере, на 2000 руб. в год. Такая прибавка допустит возможность текущих небольших приобретений; но в Палате, еще не вполне оборудованной, должна временами являться потребность в приобретении новых дорогих приборов, и в соответственных случаях необходимо будет прибегать к отпуску особых единовременных средств. В настоящее время в этом отношении осмеливаюсь ходатайствовать об единовременном отпуске 5000 руб. на окончательное устройство большого нового компаратора, на который назначены были средства в 1899 г., но оказались недостаточными для окончательного выполнения всех необходимых приспособлений.

Позволяю себе, в заключение, заявить вашему высокопревосходительству, что испрашиваемые виды увеличения средств Главной палаты определяются, прежде всего, расширением предметов ведения оной и в некоторой мере оправдываются тем, что усилиями этого учреждения достигнут в очень короткий срок перевес доходов над расходами, а потому смею надеяться, что из избытков доходов над расходами ваше высокопревосходительство усмотрите возможность удовлетворить настоятельнейшие надобности Палаты. Она начала действовать с 1893 г. с отпуском штатных сумм по 36 500 руб. в год; в 1899 г. штатный отпуск для нее возрос до 82 800 руб., а в 1902 г. увеличен до 90 100 руб. Ныне испрашивается на штатное содержание Главной палаты около 128 000 руб., и я убежден, что с течением времени, после 1910 г., Палата должна потребовать еще бо́льших расходов, которые не будут вовсе отягощать Государственного казначейства, потому что сборы в местных поверочных учреждениях и с приборов, поверяемых в самой Главной палате, должны с избытком покрыть возрастающий расход как на местные учреждения, так и на саму Главную палату.

При учреждении упомянутых выше 12 поверочных округов, сверх сумм, отпускаемых на местные палатки и на лиц, служащих по найму, потребуется учреждение штатных должностей 12 окружных поверителей и 8 их помощников. Оклад окружных поверителей следует установить не менее как в 2600 руб. (из них квартирных 600 руб.), а для их помощников — 1800 руб. (в том числе квартирных 400 руб.), с добавками по дороговизне жизни для окружных поверителей и их помощников в С.-Петербурге, Москве, Варшаве и Одессе, первым по 300 руб., а вторым по 150 руб. Хотя эти должности относятся к ведомству местных поверочных палаток, но мне кажется, было бы целесо-

образным включить их содержание в штаты Главной палаты, чтобы тем самым явно указать прямую зависимость местных учреждений от центральной Главной палаты мер и весов.

Вышеуказанное увеличение средств, отпускаемых как для Главной палаты, так и для местных поверочных учреждений, может быть произведено последовательно в учредительный период, от 1905 до 1910 г., с тем, чтобы к этому последнему сроку установилась вышеприведенная норма отпуска, что подробнее рассматривается в IV главе этой записки.

III. Необходимые изменения в положении о мерах и весах

(Уст. торг., изд. 1903 г.)

Имея в виду проектирование вышеизложенных изменений как в местных поверочных учреждениях, так и в Главной палате мер и весов, необходимо изменить и дополнить некоторые статьи «Положения о мерах и весах», включенного в «Устав торговый». Некоторые из предлагаемых изменений и дополнений не требуют после сказанного в главах I и II каких-либо дальнейших объяснений, в отношении же к проектируемым примечаниям при ст. 753 и 758, считаю долгом высказать вашему высокопревосходительству, что уменьшение действующей таксы сборов и сокращение срока периодической поверки для гирь и весов нельзя начать ранее учреждения поверки по всей империи, что может произойти только после 1910 г., а потому я и придал сим изменениям условную форму, определяемую возможностью перемен сего рода по усмотрению министра финансов. В таком виде дело сих изменений в течение учредительного периода (1905—1910 гг.) может быть подробно обсуждено на основании показаний непосредственного опыта и тех сведений о количестве всех мер и весов, подлежащих клеймению и периодической поверке, которые на основании вводимого примечания к ст. 754 будут собраны и дополнены в течение учредительного периода.

В предлагаемом сопоставлении слева помещены статьи ныне действующего Положения, подлежащие дополнениям или изменениям, а справа — проектируемые статьи, и если вашему высокопревосходительству угодно будет потребовать подробных объяснений к каждому из изменений или дополнений, они будут мною немедленно доставлены.*[...].

---

* Статьи Положения и новые предложения к ним не воспроизводятся. [*Прим. ред.*].

IV. Соображения, относящиеся к расходам и поступлениям денежных средств по делам поверки мер и весов *

[...]. По отношению к проектируемым в сей записке расходам, как видно из дальнейших расчетов, при учреждении поверки во всей империи, предполагается расходовать ежегодно:

На Главную палату	128100 руб.
» 12 окружных управлений и на 72 поверочные палатки .	932200 »
Итого расходов .	1060300 руб.

[...] По окончательном устройстве поверки во всей империи хотя и нельзя точно предвидеть общую сумму поступлений, однако ее можно предполагать близкою к 2 млн руб. ежегодно. А так как все расходы в этот период будут составлять лишь с небольшим 1 миллион, то можно питать полную уверенность, что и в этот окончательный период доходы от поверки превзойдут расходы на все поверочные учреждения, включая в их число и Главную палату, которая сама будет доставлять свой возрастающий доход по мере развития обязательной выверки электрических, водомерных и тому подобных измерительных приборов.

Из сказанного ваше высокопревосходительство изволите, вероятно, усмотреть, что первейшею своею заботою я считаю проектирование такой организации всего поверочного дела в империи, чтобы оно не только отвечало современности, требованиям точности в торгово-промышленных измерениях и некоторой обеспеченности в судьбе лиц, посвятивших себя делу поверки мер и весов, но и было безубыточным для Государственного казначейства, удобным для жителей и способным к неизбежным в нем усовершенствованиям. Всякое дальнейшее сокращение в проектируемых расходах, по моему убежденному мнению, *могло* бы отозваться или убылью в успехе всего поверочного дела, или сокращением возможных доходов казначейства. Если бы впредь, по введении проектируемого порядка поверки, оказалось, что превышение доходов над расходами ляжет некоторою тяжестью на жителей (2 миллиона в год составляют на каждого жителя менее $1^1/_2$ коп. в год), легко можно бы поправить дело простым уменьшением таксы сборов, а если бы правительство усмотрело в доходах, получаемых от поверки торгово-промышленных мер и весов, наименее отяготительный способ усиления

* Воспроизводится с некоторыми сокращениями. Опущены, преимущественно, денежные сметные расчеты. [*Прим. ред.*].

государственных средств (как я лично и полагаю), тогда можно бы увеличением таксы сборов возвысить сию статью доходов до желаемой нормы. Такого рода перемены в таксе, по моему крайнему разумению, можно было бы предпринимать только после некоторого срока действия нормального хода вещей, например около 1915 г., но ныне, когда результат всех оборотов представляет еще некоторую сомнительность, смею думать, было бы очень неосторожным совершить коренную перемену в таксе, успешно выдержавшей с 1899 г. надлежащее испытание, а потому мне кажется, что всякое обсуждение коренных изменений в таксе ныне должно бы считать преждевременным. По этой основной причине в гл. III, при проектировании изменений законоположений, я считал наиболее удобным на ближайшее время сохранить все размеры ныне действующей таксы и об уменьшенной таксе при ежегодной выверке весов и гирь говорить лишь в примечаниях. Быть может, ваше высокопревосходительство найдете примечания сии, относящиеся к периоду, наступающему после 1910 г., излишними и могущими быть вмещенными в закон лишь в 1909 г., но, во-первых, мне кажется наиболее целесообразным ныне же в законе наметить путь предстоящему изменению и, во-вторых, не рассчитывая по старости лет дожить до указанного срока, я желал оставить в предлагаемой докладной записке след своих соображений, внушенных мне 10-летним внимательным наблюдением за организациею всего дела мер и весов в отечестве.

Различив два вышеуказанных периода (учредительный и окончательный), имею честь представить на усмотрение вашего высокопревосходительства свои соображения сперва об окончательном периоде, а лишь потом о переходном или учредительном, когда будет организоваться распространение поверки на всю империю. Во всем дальнейшем говорится лишь о расходах, потребных как на Главную палату, так и на местные учреждения, а вопрос о возможных доходах, вкратце уже выше рассмотренный, мне кажется, следует отложить до времени составления государственных смет, так как исчисление доходов далеко вперед очень рискованно, и до сих пор действительность всегда доставляла больше доходов, чем предполагалось предварительно.

[...]. Смею обратиться к вашему высокопревосходительству с покорнейшею просьбою провести предлагаемые изменения Главной палаты, потому что учреждение, быстро развиваясь, требует завершения начатого, и без своевременного усиления

его средств не может продолжать развиваться в таковой же мере, как в прошлые 10 лет. Вложив в это дело много своих усилий, я забочусь о будущности этого учреждения, хотя лично едва ли уже в состоянии буду дожить до предвидимых в проекте дальнейших его улучшений.[...].

Так как дело дальнейшего устройства местных поверочных учреждений не может совершаться иначе, как постепенно, вследствие затруднений при подыскании и подготовке соответственных лиц и помещений и при заказе необходимых для них приборов, то соразмерно с силами Главной палаты кратчайшим сроком для устройства повсеместной поверки нельзя считать менее как 5 лет, т. е. от начала 1905 до 1910 г., и в этот учредительный период необходимо так урегулировать предстоящие расходы, чтобы они были менее ожидаемых доходов, долженствующих увеличиваться почти пропорционально числу учрежденных палаток. На оснований сего соображения составлена прилагаемая далее (стр. 29) ежегодная смета расходов для всех 5 годов — от 1905 до 1910 г. Было бы весьма желательным, чтобы такая смета была утверждена не позже начала 1904 г. дабы иметь возможность подыскать соответственных лиц, помещения и заказать необходимые приборы и, таким образом, своевременно выполнить все предположение. Если бы, например, указанное расписание было утверждено лишь в конце 1904 г., на предстоящий 1905 г. оказалось бы невозможным открыть 10 палаток и 2 округа в начале 1905 г., так как одно исполнение измерительных приборов, назначаемых для палаток, потребовало бы вместе с поверкою их, по крайней мере, полугодового срока, и палатки могли бы открыться лишь к концу 1905 г.[...].

Государственный совет потребовал, чтобы к 1905 г. был представлен Министерством финансов проект окончательного устройства местных поверочных учреждений во всей империи, руководясь опытом 1902, 1903 и 1904 гг., но я осмеливаюсь предупредить назначенный срок и представить свою записку ныне же, потому, во-первых, что опыт 1902 и 1903 гг. уже явно показывает справедливость ранее высказанных ожиданий Главной палаты и Министерства финансов и опыт 1904 г. ничего особенно нового показать не может; во-вторых, потому, что скорое и своевременное довершение мер, по техническим условиям дела, не может совершаться без предварительно предусмотренного порядка всех действий как в

учредительный период, так и в окончательный, и, в-третьих, потому, что если ваше высокопревосходительство усмотрите какие-либо недостатки и неудобства в предлагаемом проекте, все же окажется возможным успеть исправить оные к надлежащему сроку по Вашим указаниям. Главнейшими стремлениями моими при составлении предлагаемого проекта были: удобства страны, неотяготительность обложений за поверку, постепенное усовершенствование всех частей сложного дела, устранение возможных в нем подлогов и превышение доходов над расходами. А так как в вышеизложенных соображениях уже содержится рассмотрение вопроса о сборах при периодической поверке, то осмеливаюсь вместе с сим предложить вашему высокопревосходительству соединить в одно целое представление Государственному совету как о таксе за периодическую поверку, так и изложенные в сей записке соображения о распространении поверочных учреждений на всю империю.

Управляющий Главною палатою мер и весов

Октябрь 1903 г. *Д. Менделеев.*

ТИПО-ЛИТОГРАФИЯ М. П. ФРОЛОВОЙ

Главная палата мер и весов. Дело № 38 «Об опытах с качающимся маятником» (7 II 1905—17 XI 1911), л.л. 1—4.

7 февраля 1905 г.
№ 329

Его превосходительству В. И. Тимирязеву

Милостивый государь,

многоуважаемый

Василий Иванович!

В прошлую субботу (29 января) при личном докладе его высокопревосходительство Владимир Николаевич изъявил согласие на временную передачу для производства опытов с маятником до трех пудов золота с С.-Петербургского монетного двора. Извещая об этом ваше превосходительство, имею честь сообщить по поводу предполагаемых опытов с маятником некоторые подробности.

При возведении в 1901 и 1902 гг. третьего дома во дворе Главной палаты мер и весов, внутри здания устроен был, при помощи кессонного способа погружения склепанных железных цилиндров (диаметр в 1 м) сухой колодец, глубиною около 7 сажен. Над этим колодцем при возведении здания устроена двухстенная железная труба, проходящая чрез пять этажей и кончающаяся в шестом этаже башни. Труба внутренняя имеет диаметр около 1 аршина, а охватывающая ее, также из толстого котельного железа, имеет диаметр около 1 м. Общая высота обеих труб около 11 сажен. Расстояние между нижнею частью этой трубы и верхнею частью колодца около 1 м. Между двумя верхними трубами в замкнутом кольцеобразном пространстве устроена циркуляция воды при помощи особого насоса, действующего электричеством, для той цели, чтобы можно было во внутренней трубе иметь возможно постоянную температуру, необходимую при производстве многих точных исследований, для которых назначено все вышеописанное сооружение, имеющее по размерам и качеству частей то достоинство, что еще нигде в мире доныне не имеется подобного приспособления,

обладающего общею высотою более 35 м. Назначение такого сооружения определяется необходимостью произвести возможно точные новые исследования, относящиеся к вопросам веса и тяжести, которые включаются в число задач, преследуемых Главной палатой мер и весов. Два ряда исследований уже сделаны в указанном приспособлении. Сперва Ф. П. Завадский и В. А. Мюллер вместе со мною произвели взвешивание проволоки, длиною около 20 м, в вытянутом гирею виде, а потом в свернутом для определения основной причины тяготения, которую по многочисленным гипотезам объясняли ударами эфирных частиц. Второй ряд опытов, также ныне законченный А. А. Ивановым при содействии Н. И. Адамовича, относился к определению напряжения тяжести при помощи падения тел в приспособлении, подобном Атвудовой машине. Два указанных ряда исследований показали возможность сохранять на большой высоте очень постоянную температуру и вообще демонстрировали удобство и достоинство всего вышеописанного сооружения. По этой причине ныне я считаю возможным приступить к одной из главных целей, для которых построено было все сооружение, а именно к опытам, относящимся к определению абсолютного напряжения тяжести при помощи длинного маятника, так как при большой высоте подвеса можно надеяться на устранение многих неточностей, свойственных обычным способам определения напряжения тяжести. При организации подобных исключительных опытов необходимо прибегнуть — ради возможности достижения всей желаемой точности — к массам тяжести, привешиваемым на конце маятника из разных материалов, притом возможно плотных и тяжелых. Такими материалами представляются: чугун, сплавы свинца и золота или платина. Вес же массы, потребный для получения желаемых результатов, должен выражаться, во всяком случае, десятками килограммов или пудами и, после надлежащего рода расчета, ныне признается мною вес около 3 пудов, или 50 кг достаточным для указанных целей. Трехпудовое количество чугуна или свинцового сплава не может представить затруднений при заказе ни по ценности, ни по исполнению, но масса в 3 пуда платины или золота, необходимых исключительно потому, что эти металлы имеют наибольший удельный вес, т. е. наименьший объем при данном весе, представляет затруднение прямо со стороны большой ценности. Ныне платина даже дороже золота в обделанном виде, и трехпудового количества платины прямо негде достать, а потому внимание мое остановилось исключительно на золоте, как металле,

обладающем плотностью в 19 раз большей, чем вода, а потому представляющем при качаниях наименьшее сопротивление воздействию воздуха.

На основании вышеизложенного я осмелился обратиться к его высокопревосходительству г-ну министру финансов с просьбою одолжить до 3 пудов золота Главной палате для производства указанных исследований с тем, во-первых, чтобы придание потребной для маятника шарообразной формы золоту было сделано на Монетном дворе из монетного золотого сплава и, во-вторых, с тем, чтобы по окончании опытов шар был возвращен в первоначальном виде на Монетный двор для переделки в монету.

Его высокопревосходительству г-ну министру финансов угодно было согласиться не только на производство шара на Монетном дворе и на выдачу его Главной палате на срок (2—3 месяца) опытных исследований, но и на публичное о сем заявление в предполагаемом мной описании проекта опытов.

На основании этого покорнейше прошу ваше превосходительство не отказать в сношении с Монетным двором и в дозволении вступить Главной палате в соглашение с Монетным двором относительно подробностей, касающихся заказов и срока исполнения их.

Опыты с маятником предполагается производить преимущественно при помощи инспекторов Главной палаты Ф. И. Блумбаха и А. А. Иванова.

Покорнейше прошу ваше превосходительство принять уверение в совершенном почтении и готовности к услугам.

Д. Менделеев.

Главная палата мер и весов. Дело № 38 «Об опытах с качающимся маятником» (7 II 1905—17 XI 1911), л.л. 5—6.

7 февраля 1905 г.
№ 334

Его высокородию М. Г. Субботину *

Милостивый государь,
Михаил Глебович!

Имея надобность для производства опытов с маятником в чугунных шарах, покорнейше прошу Вас сделать распоряжение об отливке на Сормовском заводе из чугуна наиболее беспорочного, т. е. равномерного, следующих предметов:

1) трех шаров, весом в каждом около 1 пуда;
2) трех шаров, весом в каждом около 3 пудов;
3) двух шаров, весом в каждом около 6 пудов, и
4) пяти цилиндров, высотой около 6 дюймов и диаметром около полдюйма.

Вещи прошу доставить, по возможности, в скором времени, без всякой отделки, т. е. такими, как и выйдут в отливке, потому что обточку решено произвести в мастерских Главной палаты. Очень обяжете, если ускорите выполнение заказа и позаботитесь о том, чтобы чугун был во всех отливках один и тот же и равномерный, и если назначите за доставленные вещи, предназначенные для научной цели, умеренную плату.

Прошу принять уверение в совершенном почтении.

Д. Менделеев.

---

* — Директор Правления общества железоделательных, сталелитейных и механических заводов «Сормово». [*Прим. ред.*].

М. Ф.
УПРАВЛЯЮЩИЙ
ГЛАВНОЮ ПАЛАТОЮ
МЕР И ВЕСОВ

8 февраля 1905 г.
№ 350

Главная палата мер и весов. Дело № 38 «Об опытах с качающимся маятником» (7 II 1905—17 XI 1911), л.л. 7—9.

В Правление Кыштымских горных заводов

В Главной палате мер и весов в ближайшем будущем предполагается произвести ряд исследований над качаниями длинного маятника в виде металлического шара, подвешенного на проволоке, длиною до 40 м. Одним из материалов для подвешиваемых шаров избирается мною чугун, именно того качества, из какого на Каслинском горном заводе отливаются столь известные всякие изделия, по той причине, что, по сделанным пробам, чугун этот отличается большой равномерностью сложения.

На основании этого имею честь обратиться к Правлению Кыштымских горных заводов с заказом из указанного чугуна сделать следующие шары и доставить их в необточенном виде в Главную палату:

1) три шара, весом каждый около 1 пуда в отливке;
2) три шара, весом каждый около 2 пудов в отливке;
3) три шара, весом каждый около 3 пудов в отливке;
4) два шара, весом каждый около 4 пудов в отливке;
5) один шар, весом около 5 пудов в отливке;
6) один шар, весом около 6 пудов в отливке, и
7) десять цилиндров, диаметром каждый около полдюйма и длиной около 5 дюймов.

Желательно, чтобы все высылаемые шары были сделаны из одной отливки, т. е., по возможности, из того же самого чугуна, и чтобы на доставляемых шарах не было свищей или каких-либо иных внешних недостатков, указывающих на неравномерность.

Обточку шаров предполагается произвести в мастерских самой Главной палаты. Присылка желательна как можно в

более скорое время и, если возможно, то тотчас по открытии навигации. Что касается до стоимости, то покорнейше прошу Правление известить меня об оной немедленно, присчитывая и доставку в Палату, и я смею надеяться, что цена будет умеренная, ввиду научной цели, для которой назначается отливка.

Управляющий Главною палатою мер и весов

Д. Менделеев.

ОПЕЧАТКИ

Страница	*Строка*	*Напечатано*	*Должно быть*
23	6 снизу	вопросом	вопросам
106	9 сверху	устанавлюются	устанавливаются
125	7 снизу	имеем:	имеем [см. табл. на стр. 126].
127	12 сверху	Лефеврам	Лефевром
179	2 снизу	3).	3).*
313	1 сверху	$^3/_4$ L_4—	$^3/_4$ (L_1—
817	22 »	хронограф	хронограф

Печатается по постановлению
Редакционно-издательского совета
Академии Наук СССР

*

Редактор издательства *О. И. Дейнека*
Технический редактор *Р. С. Певзнер*
Корректоры *А. С. Малютина* и
Н. М. Шилова

*

РИСО АН СССР № 3941. Подписано к печати 7 VII 1950 г. М.-18365. Бумага 60 × 92/16. Бум. л. 27 1/8. Печ. л. 54 1/4 + 2 вклейки. Уч.-изд. л. 52. Тираж 3000. Зак. № 1581. Цена в переплете 45 руб.

1-я типография издательства АН СССР
Ленинград, В. О., 9 линия, д. 12.