

СССР

ВСНХ

ГЛАВНАЯ ПАЛАТА МЕР И ВЕСОВ

ВРЕМЕННОК

ГЛАВНОЙ ПАЛАТЫ МЕР И ВЕСОВ

Выпуск 1 (13).

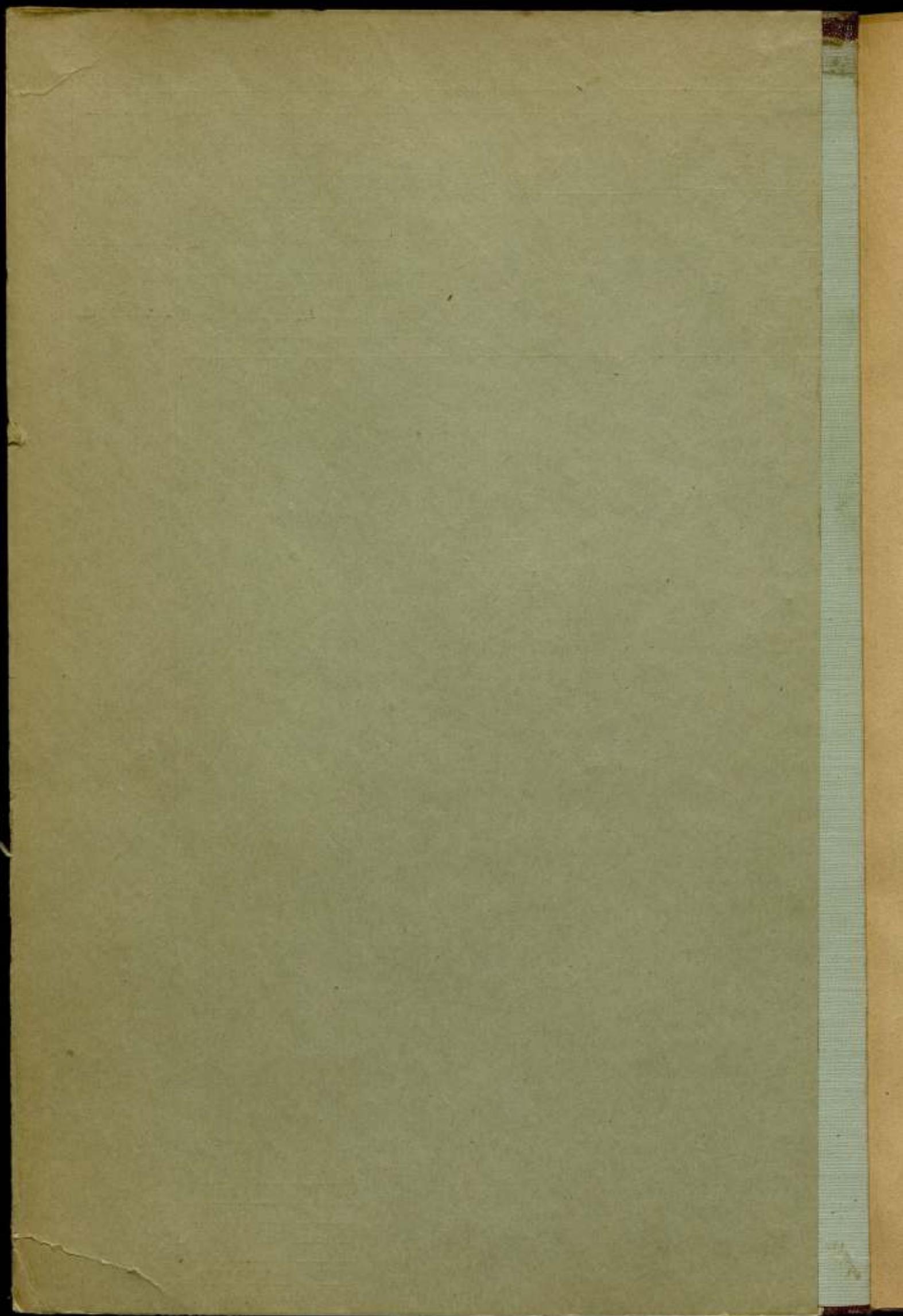
СОДЕРЖАНИЕ. От Редакционного Комитета. — *А. Н. Доброхотов*, Определение удельного веса воздуха. — *Н. И. Адамович*, Платиноридиевая полусажженная мера ПЛ. — *Н. Х. Прейнич*, Установление и хранение точного времени. — *И. В. Мещерский*, Теоретические исследования манометрической трубки. — *М. Ф. Маликов*, Эталон международного вольта. — *Л. Н. Боголюденский*, Теория радиометра и радиометрической

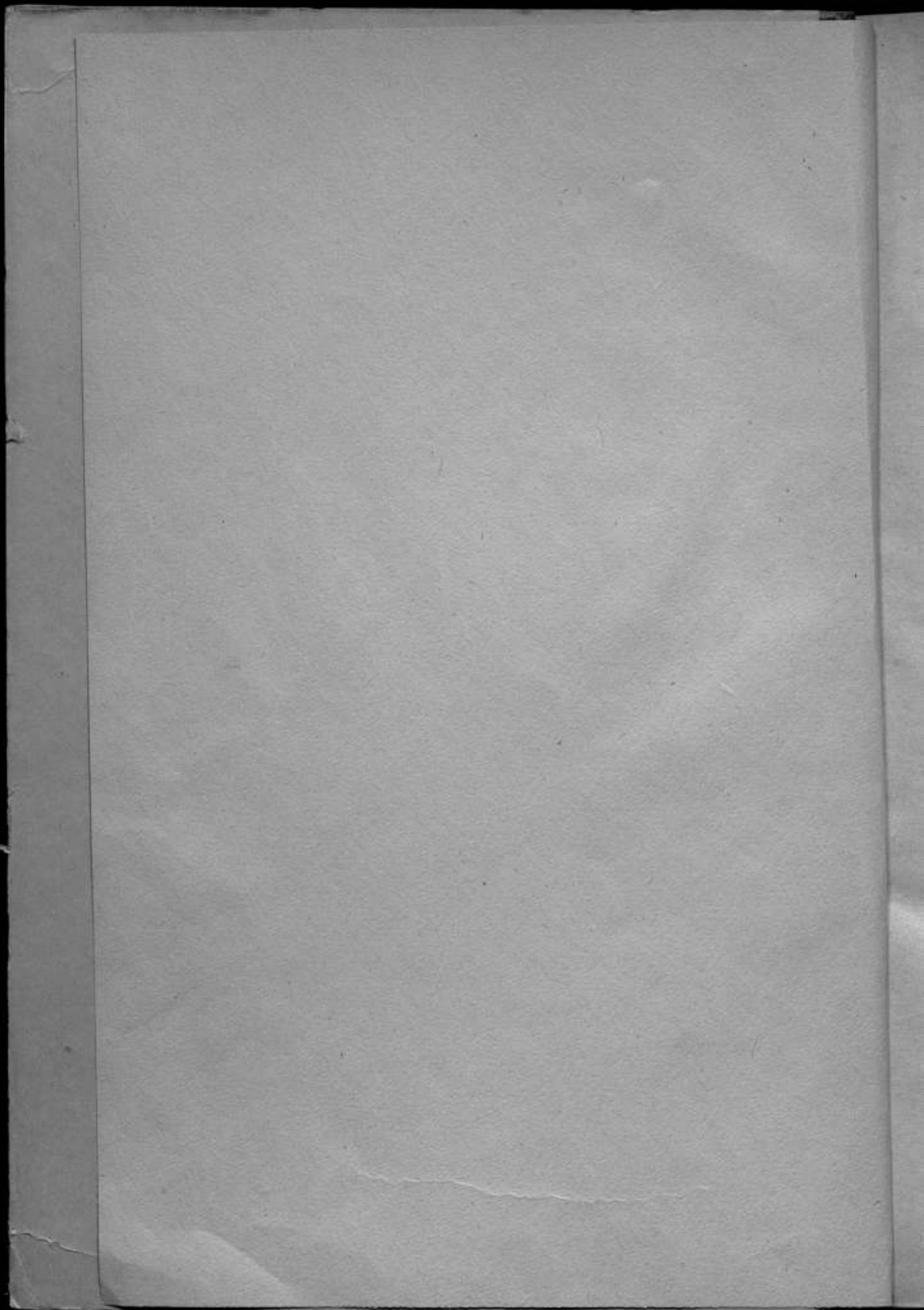
съемки. — *М. Ф. Маликов*, Прибор для определения объема тел вращения. — *В. С. Габель*, О современных способах поверки волномеров. — *С. О. Майзель*, Положение вопроса о световых единицах. — *Н. П. Тарасов*, Римские неравноплечные весы в Государственном Эрмитаже. — Некрологи: *Н. Г. Егоров*, *Л. С. Колларат-Червинский*, *А. Я. Ташитов*, *В. А. Яковлев*. — Указатель статей, помещенных в частях 1—13 Временника.



ЦЕНТРАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ
ПРОМПРОПАГАНДЫ И ПЕЧАТИ ВСНХ
МОСКВА * ЛЕНИНГРАД

1925





СССР

ВСНХ

ГЛАВНАЯ ПАЛАТА МЕР И ВЕСОВ

ВРЕМЕННОК

ГЛАВНОЙ ПАЛАТЫ МЕР И ВЕСОВ

Выпуск 1 (13).

СОДЕРЖАНИЕ. От Редакционного Комитета. — *А. Н. Доброхотов.* Определение удельного веса воздуха. — *Н. И. Адамович.* Платиноридная полусажанная мера П4. — *Н. Х. Прейнич.* Установление и хранение точного времени. — *И. В. Мецкерский.* Теоретические исследования манометрической трубки. — *М. Ф. Маликов.* Эталон международного вольта. — *Л. Н. Боговяденский.* Теория радиометра и радиометрической

съемки. — *М. Ф. Маликов.* Прибор для определения объема тел прашения. — *В. С. Габель.* О современных способах поверки волномеров. — *С. О. Майзель.* Положение вопроса о световых единицах. — *Н. П. Тарасов.* Римские неравноплечные весы в Государственном Эрмитаже. — *Неврологи:* *Н. Г. Егоров, Л. С. Коловрат-Червинский, А. Я. Тацтов, В. А. Яковлев.* — Указатель статей, помещенных в частях 1—12 Временника.



ЦЕНТРАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ
ПЕЧАТИ И ПРОМПРОПАГАНДЫ ВСНХ
МОСКВА * ЛЕНИНГРАД
1925.

С выходом в свет настоящей книги после долгого перерыва возобновляется издание „Временника“.

„Временник Главной Палаты мер и весов“ основан в 1894 году Д. И. Менделеевым для опубликования отчетов о произведенных в Главной Палате исследованиях и работах по научной и практической метрологии. С 11-ой части „Временника“, вышедшей в свет в 1915 году, ему была придана новая форма органа исключительно научной метрологии, выделенном из него всего, что касается непосредственно практической метрологии.

В настоящее время, с преобразованием Главной Палаты мер и весов в два Института — Метрологический и Поверочный, — объединенные в лице Метрологического Совета, вся научная метрологическая работа сосредоточивается в Метрологическом Институте, а поэтому „Временник“ становится органом Метрологического Института, освещающим на своих страницах все вопросы, касающиеся деятельности его лабораторий.

Сохраняя свою прежнюю форму органа научной метрологии, „Временник“ будет выходить в свет выпусками в 15—20 печатных листов, по мере накопления материала, по следующей расширенной программе: 1) статьи по научной метрологии, 2) отчеты об исследованиях, производимых в лабораториях Метрологического Института, 3) отчеты о научно-технической деятельности Метрологического Института, 4) рефераты по вопросам научной метрологии и 5) хроника метрологии в СССР и за границей. Двойная нумерация выпусков „Временника“, указывает текущий номер „Временника“, как органа Метрологического Института, и, в скобках, последовательный номер с основания „Временника“.

Ответственным редактором „Временника“ является М. Ф. Маликов. Общая же ответственность за выпуск издания и техническая сторона дела лежит, согласно установленному для изданий Главной Палаты порядку, на Редакционном Комитете Палаты.

Редакционный Комитет

Главной Палаты мер и весов *М. Маликов.*

А. Доброхотов.

М. Ильин.

Л. Исakov.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ВЕСА ВОЗДУХА.

А. Н. Доброхотов.

Если сравниваемые между собой по весу тела равны при сличении их в воздухе, объемы же их различны, то в безвоздушном пространстве, как известно, это кажущееся равновесие нарушается, и тело с меньшим объемом окажется тяжелее другого на величину, равную произведению разности между объемами на удельный вес того воздуха, в котором производилось сравнение вышеуказанных тел. По указанной причине, при производстве точных сравнений веса двух тел с разными объемами, необходимо каждый раз определять удельный вес воздуха, изменяющийся вместе с изменением температуры, давления, влажности и химического состава.

Если принять, что литр сухого воздуха, содержащего 0,035% углекислого газа, при 0° и 760 мм давления, весит 1,294356 г (в последнем издании таблиц Ландолта 1923 г. приводится среднее значение $\epsilon = 1,29307$ г), то можно путем вычисления определить этот вес при иных метеорологических условиях, для чего необходимо знать температуру воздуха, барометрическое давление и влажность *).

Вывод формулы, дающий возможность вычислять каждый раз требуемый удельный вес воздуха, следующий:

Если обозначим: ϵ — искомый удельный вес воздуха, H_0 — высота барометра, приведенная к 0°, h — упругость паров воды при температуре t , $H_0 - h$ — упругость сухого воздуха (без паров воды) и t' — температура воздуха, то удельный вес сухого воздуха при наблюдаемых температуре и давлении должен быть:

$$\epsilon = \frac{1,294356}{1 + 0,00367t} \cdot \frac{H_0 - h}{760} \dots \dots \dots (1)$$

Для вычисления этого выражения необходимо знать температуру воздуха t , давление H_0 и упругость паров воды h . Первые две величины определяются непосредственно при помощи термометра и барометра, а величина h — в Главной Палате определяется посредством психрометра Ассмана, для которого дается следующая эмпирическая формула:

$$h = f' - 1/2 (t - t') \frac{H_0}{755} \dots \dots \dots (2),$$

где f' — упругость паров воды, насыщающих воздух при температуре отчитанной на смоченном термометре, t — температура показываемая сухим термометром, и t' — температура показываемая смоченным термометром.

Зная h , можем вычислить удельный вес данного воздуха: вес литра паров воды, упругость коих равна h , равен:

$$\frac{1,294356}{1 + 0,00367t} \cdot \frac{h}{760} 0,62 \dots \dots \dots (3),$$

где 0,62, есть плотность паров воды по отношению к воздуху. Этот литр паров воды разместится в литре сухого воздуха, и общий вес литра данного воздуха будет:

*) Содержание углекислого газа в воздухе колеблется в небольших пределах, от 0,030% до 0,045% (см. Доброхотов, Временник Г. П., ч. 3-я, стр. 85); это изменение ничтожно мало влияет на удельный вес воздуха, и потому особых каждый раз определений содержания CO_2 не производится.

$$e = \frac{1,294356}{1 + 0,00367t} \cdot \frac{H_0 - h}{760} + \frac{1,294356}{1 + 0,00367t} \cdot \frac{h}{760} \cdot 0,62 = \frac{1,294356}{(1 + 0,00367t)760} \cdot (H_0 - h + 0,62h) = \frac{1,294356}{(1 + 0,00367t)760} (H_0 - 0,38h) \dots (4).$$

Для оценки точности результатов, получаемых при описанном способе определения удельного веса воздуха, предположим, что при отчетах на термометрах и барометре мы сделаем ошибку в $0^{\circ},1$ и в $0,1$ мм, и в каждом наблюдении допустим, что ошибка будет в одну сторону: либо +, либо -. Возьмем для примера данные наблюдений.

Вычисление e по отчетам:

$$H_{15,5} = 760,4; \quad H_0 = 758,5;$$

$$t = 16^{\circ},0; \quad t' = 8^{\circ},7; \quad t - t' = 7^{\circ},3;$$

$$\frac{(t - t') H_0}{1510} = 3,67;$$

$$f' = 8,38;$$

$$h = 4,71; \quad 0,38h = 1,79;$$

$$H_0 - 0,38h = 756,71;$$

$$\frac{1,294356}{(1 + 0,00367 \cdot 14,8) 760} = 0,00161536;$$

$$e = 1,2224;$$

Вычисление e при допущении ошибок:

$$H_{15,5} = 760,5; \quad H_0 = 758,6;$$

$$t = 16^{\circ},1; \quad t' = 8^{\circ},6; \quad t - t' = 7^{\circ},5;$$

$$\frac{(t - t') H_0}{1510} = 3,77;$$

$$f' = 8,33;$$

$$h = 4,56; \quad 0,38h = 1,73;$$

$$H_0 - 0,38h = 756,87;$$

$$\frac{1,294356}{(1 + 0,00367 \cdot 14,7) 760} = 0,00161592;$$

$$e = 1,2230;$$

разница в уд. весе = 0,0006.

Получаемая общая ошибка в 4-м десятичном знаке суммируется из трех ошибок, происходящих от неточности определения: а) температуры воздуха, б) высоты барометра и в) упругости паров воды. Подсчитав отдельно влияние каждого фактора, можем убедиться, что наибольшее значение имеет точное определение температуры воздуха. Изменение этой температуры на $0,1^{\circ}$ влечет за собой изменение плотности воздуха на 0,00042; изменение высоты барометра на $0,1$ мм изменяет эту величину на 0,00016, а изменение упругости пара воды на $0,1$ мм дает ошибку в 0,00006. При суммировании указанных ошибок получается общая ошибка 0,00064, тождественная с выведенной выше на частном примере.

Указанная ошибка в определении плотности воздуха при точных метрологических взвешиваниях допущена быть не может, ибо повлечет за собой ошибку в определении истинного веса гири, равную произведению разности между объемами сравниваемых тел на эту довольно значительную величину. При сравнении, например, платинового килограмма с бронзовым, разность между объемами коих может быть равна 76 мм, получим результат с погрешностью равной:

$$0,0006 \cdot 76 = \text{приблиз. } 0,05 \text{ м,}$$

что при современном состоянии точных взвешиваний совершенно недопустимо.

Наибольшая ошибка при определении плотности воздуха может быть допущена не более 0,0001, при каковых условиях ошибка в определении веса килограммовой гири не превзойдет 0,01 м, что уже является допустимым для такого сравнительно большого груза.

Если принять во внимание, что при вычислении плотности воздуха из данных метеорологических наблюдений, помимо указанных возможных ошибок, еще может быть источник ошибок в таблицах, вычисленных для приведения показаний барометра к 0° , в поправках термометров, в изменении содержания в воздухе углекислого газа и т. п., то станет понятным, что определение плотности воздуха с точностью до 0,0001 путем вышеуказанных наблюдений возможно только при исключительно благоприятных обстоятельствах, создание коих представляется задачей чрезвычайно сложной и трудно осуществимой.

Другой метод определения плотности воздуха—взвешивание в воздухе двух тел, равных между собой по весу в безвоздушном пространстве, но отличающихся по возможности резко своими объемами, основан на следующем.

Возьмем два тела A и B , при чем объем тела A больше объема тела B , а вес того и другого тела в пустоте один и тот же, равный P . Обозначим объем тела A буквой V , а объем тела B —буквой v ; при сравнении веса этих тел в воздухе, имеющем плотность ϵ , равновесие между ними наступит тогда, когда к телу A будет прибавлен некоторый грузик a , равный разности веса этих тел в воздухе. Сказанное можно выразить следующим уравнением:

$$P - Ve + a = P - ve,$$

$$\text{откуда } \epsilon = \frac{a}{V-v} \dots \dots \dots (5)$$

Этот метод определения плотности воздуха был предложен Д. И. Менделеевым и описан им в сочинениях: „Об упругости газов“, стр. 28, и „О соединении спирта с водой“, стр. 55. В последнем сочинении Д. И. Менделеев описывает прибор, примененный им для этой цели. Это—„два легких объемистых тела: стеклянный запаянный шар и медный золоченый, запаянный же цилиндр. Объем первого при $20^\circ C$ равен 335,08 куб. см, объем второго—406,20 куб. см. Истинный вес первого—24,9649 г, второго—83,8950 г. При определении плотности воздуха по этому способу, с приборами указанного размера, наибольшая погрешность в значении ϵ —не более 0,000005“.

В сочинении „Об упругости газов“ Д. И. Менделеев указывает лишь предположительно, что если взять объем шара 10000 куб. см и взвешивать его в воздухе разной плотности, то по разнице веса можно будет определить плотность ϵ с точностью до 0,000002, если вес шара каждый раз будет определяться с точностью до 1 мг.

Из приведенных выше подсчетов и соображений вытекает, что метод определения плотности воздуха путем взвешивания двух тел разного объема следует предпочесть методу теоретического расчета этой величины, как по точности результата, так и по простоте, удобству и быстроте решения вопроса.

Для практического осуществления определения плотности воздуха последним способом мною приготовлено два тела: стеклянный шар и стеклянный цилиндрический сосуд. Объем первого равен 616,684 мл + 0,01541 ($t-18$) мл; объем второго—19,994 мл + 0,00050 ($t-18$) мл. В каждый сосуд налито столько ртути, чтобы получились два тела, по возможности равных между собой по весу в пустоте, и оба сосуда запаяны. После запайки произведено определение веса в пустоте обоих тел, при чем оказалось:

Вес шара	199,9982 г
Вес цилиндрического сосуда	200,0008 г

Разница в весе, равная 2,6 мг, принята во внимание при установке описанных тел на весы, т. е. к шарообразному сосуду прибавлена отдельная гирька весом 2,6 мг, и таким образом получились два тела совершенно равные между собой по весу в пустоте.

Для определения плотности воздуха согласно вышеприведенному уравнению (5) необходимо знать при данных условиях опыта разницу в объемах ($V-v$) и разницу в весе этих тел в воздухе.

Объемы тел изменяются в зависимости от температуры и от изменения атмосферного давления. Для определения объемов при разных температурах можно принять средний коэффициент объемного расширения стекла равным 0,00025, и руководствуясь им, составить таблицу объемов каждого тела при всех возможных температурах. Подсчет показывает, что при изменении температуры на 10 градусов объем шарообразного сосуда изменяется на 0,154 мл, а разность в объемах между

этим сосудом и цилиндрическим—на 0,149 мл, что при расчете на потерю в весе воздуха дает величину $0,149 \cdot 1,2 = 0,18$ мг*); величина эта достаточно ощутимая на весах, и потому принимать во внимание изменение объемов этих тел с изменением температуры представляется необходимым. Особая точность определения температуры при этом не требуется, и если ошибка в определении температуры достигнет даже 1° , то результат определения плотности воздуха оказывается весьма мало ошибочным.

Для иллюстрации возьмем данные опыта. Разница в весе шарообразного и цилиндрического сосудов, при $15,5^\circ \text{C}$, оказалась 748,8 мг, а разность объемов этих тел при той же температуре—596,653 мл; отсюда плотность воздуха: $\epsilon = 748,8 : 596,653 = 1,2550$.

Если допустить ошибку в отчете температуры на 1° , т. е. предположить ее равной $16,5$, то разность объемов в этих условиях будет 596,668 мл, а плотность воздуха: $\epsilon = 748,8 : 596,668 = 1,25497$, т. е. очень близко к 1,2550.

При вычислении плотности воздуха можно ограничиться только 4 десятичными знаками, что вполне достаточно для всяких метрологических работ в Главной Палате; для ускорения и облегчения вычислений полезно определить заблаговременно разности объемов тел в пределах обычно наблюдаемых температур.

Для суждения об изменении объема шарообразного сосуда от перемены давления атмосферы, произведено мной следующее испытание.

К шару припаяна была тонкая стеклянная трубка такого диаметра, что 1 мм по длине трубки отвечал объему 0,002716 мл. Длина трубки равна 800 мм. Шар наполнен водой почти до верха трубки и в таком виде погружался в цилиндр с водой до момента совпадения уровней воды в цилиндре и в трубке. В таком положении измерено расстояние от уровня воды в трубке до середины шара и оказалось равным 770 мм. Прибор выдержан был в воде в течение 2 суток, после чего, при поднятии его из воды, определялось понижение уровня воды в трубке вследствие расширения шарообразного сосуда под давлением столба воды высотой 770 мм. Понижение оказалось равным 3 мм. При обратном погружении прибора в воду уровень жидкости в трубке возвращался в начальное положение. При многократном повторении описанного испытания результаты получились одинаковые, и потому можно заключить, что при изменении давления на величину, равную весу столба воды в 770 мм, т. е. равную $770 : 13,5 = 57$ мм ртутного столба, объем гири изменяется на $3 \cdot 0,002716 = 0,008$ мл. Если же принять во внимание, что в обычных условиях работы изменение атмосферного давления только в исключительных случаях может достигнуть указанной величины (57 мм), а обычно оно колеблется в пределах 20—30 мм ртутного столба, то изменение объема шара от перемены давления будет колебаться в пределах редко превосходящих 0,005 мл. В наиболее неблагоприятном случае, когда от изменения атмосферного давления объем шара изменится на максимальную величину 0,008 мл, и это изменение не будет принято в расчет, ошибка в определении удельного веса воздуха выразится в величине: $0,008 \cdot 1,2 = 0,0096$ мг, т. е. около 0,01 мг, а эта величина является пределом точности наблюдений и при быстрой работе улавливаться не может.

Изменения объема второго тела—стеклянного цилиндра, имеющего по сравнению с шаром значительно меньший объем, будут, при изменении атмосферного давления, еще менее заметны.

По изложенным соображениям нет надобности принимать в расчет изменения объемов тел А и В, происходящие от перемены атмосферного давления, а можно считать, что эти объемы при обычных условиях работы остаются неизменными.

Исученный, как выше описано, прибор оказалось наиболее удобным поместить на весы Немеца, установленные рядом с весами Рупрехта, на которых производятся наиболее точные и ответственные работы по сравнению единиц массы. В весах

*) 1,2 мг — средний вес миллилитра воздуха.

Немецкая имеет особый механизм для накладывания на ту или другую чашку мелких (миллиграммовых) гирь, не подымая колпака весов, и это обстоятельство является чрезвычайно удобным для производства наблюдений по определению удельного веса воздуха. Незначительная ошибка, которую могли давать весы вследствие небольшой разницы в длине плеч, устранена прибавкой на соответствующую чашку надлежащего грузика, а потому, для производства наблюдения, требуется лишь опустить арретир весов и привести их в состояние равновесия прибавлением на ту или другую чашку надлежащего количества миллиграммовых гирь. Разделив число, отвечающее весу этих гирь, на разность объемов тел *A* и *B* при данной температуре, получим искомый удельный вес воздуха при данных условиях.

Для сравнения описываемого метода определения удельного веса воздуха с обычным метеорологическим, был произведен ряд параллельных наблюдений. В нижеследующей таблице приводятся результаты этого сравнения.

Время наблюд. 1918 г.	Взвешиваемое тел.			Из данных метеорологических наблюдений										
	<i>a</i>	<i>V-v</i>	<i>e</i>	<i>H_t</i>	<i>H₀</i>	<i>t</i>	<i>t'</i>	<i>t-t'</i>	<i>κ</i>	<i>f</i>	<i>h</i>	<i>0,38h</i>	<i>H₀-0,38h</i>	<i>e</i>
5 марта	748,8 мк	596,653 (15°,5)	1,2550	782,9	780,81	17°0	9°,4	7°,6	3,93	8,78	4,85	1,84	778,97	1,2553
" "	745,2 "	596,671 (16°,7)	1,2489	782,3	780,13	17,3	9,8	7,5	3,87	9,02	5,15	1,96	778,17	1,2488
6 "	739,7 "	596,657 (15°,8)	1,2397	774,2	772,12	17,1	9,6	7,5	3,84	8,90	5,06	1,92	770,20	1,2398
" "	737,3 "	596,663 (16°,2)	1,2357	771,9	769,89	16,2	9,0	7,2	3,67	8,55	4,88	1,85	768,04	1,2346
7 "	741,8 "	596,650 (15°,3)	1,2433	775,0	773,01	16,4	9,0	7,4	3,79	8,55	4,76	1,81	771,20	1,2436
" "	739,1 "	596,662 (16°,1)	1,2387	774,0	771,95	16,3	8,9	7,4	3,78	8,49	4,71	1,79	770,16	1,2385
8 "	736,7 "	596,647 (15°,1)	1,2347	768,7	766,73	16,1	8,4	7,7	3,91	8,21	4,30	1,63	765,12	1,2347
10 "	734,9 "	596,642 (14°,8)	1,2317	766,1	764,17	16,0	8,5	7,5	3,80	8,27	4,47	1,70	762,47	1,2317
11 "	735,5 "	596,639 (14°,6)	1,2327	766,2	764,32	15,7	8,5	7,2	3,64	8,27	4,63	1,76	762,56	1,2327
12 "	729,3 "	596,642 (14°,8)	1,2223	760,4	758,5	16,0	8,7	7,3	3,67	8,38	4,71	1,79	756,71	1,2224
13 "	741,7 "	596,639 (14°,6)	1,2431	772,8	770,90	15,9	8,6	7,3	3,73	8,32	4,59	1,74	769,16	1,2433
15 "	737,4 "	596,638 (14°,5)	1,2359	768,0	766,12	15,9	8,6	7,3	3,70	8,32	4,62	1,76	764,36	1,2360
17 "	735,3 "	596,645 (15°,0)	1,2324	767,1	765,18	14,9	8,0	6,9	3,50	7,99	4,49	1,71	763,47	1,2324

Обозначения: *a* — вес гирь, уравновешивающих тела *A* и *B* в воздухе;

V и *v* — объемы тел;

e — удельный вес воздуха;

H_t — высота барометра при температуре наблюдения *t*;

H₀ — " " " " 0°;

t — температура сухого термометра;

t' — " " влажного " "

κ — выражение $\frac{(t-t')H_0}{1510}$ (ур-не 2)

f — упругость паров насыщающих воздух при *t*;

h — упругость паров находящихся в воздухе, при *t*.

Цифры в скобках, приведенные в третьем столбце таблицы, означают температуру воздуха в весах.

Как видно из вышеприведенной таблицы, результаты определения удельного веса воздуха обоими описанными способами, которые для краткости можно назвать *весовым* и *метеорологическим*, почти тождественны. В редких случаях, как например, в наблюдении 6 марта, когда разниця между результатами наблюдений достигла единицы в третьем десятичном знаке (1,2346 и 1,2357), такое сравнительно большое несогласие объясняется, несомненно, ошибкой при отчете температуры воздуха в ящике весов. Если допустить, что в указанном случае вместо 16°,2, как записано в журнале наблюдений, в ящике весов была на самом деле температура 16°,0, то такое исправление совершенно не отразится на результате весового способа, так как объемы взвешиваемых тел при этом изменятся нечувствительно, а на результате метеорологического способа исправление температуры, входящей в выражение

$\frac{1,294356}{1,000367}$, отразится заметно, и для значения ϵ вместо 1,2346 получится число 1,2355 почти совпадающее с результатом весового способа 1,2357.

Из всего вышеизложенного видно, что обычно практикующийся способ определения плотности воздуха из данных метеорологических наблюдений может быть, без ущерба для точности результата, заменен способом весовым, и так как последний, при условии пользования хорошими весами, дает быстро, без сложных вычислений, надежный результат, то он может обратить на себя внимание экспериментаторов и получить более широкое применение, чем то было до настоящего времени. При пользовании весовым способом возможно, например, без особых затруднений установить регулярные наблюдения за изменением плотности наружного атмосферного воздуха, и так как данные эти включают в себя всю сумму различных факторов, влияющих на удельный вес воздуха (температура, давление, влажность, относительное содержание составных частей и т. п.), то кривая изменения плотности атмосферного воздуха можем представить для метеорологии интерес в качестве показателя жизни атмосферы.

Приложение 1.

Таблица численных значений при различных температурах величины $\frac{1,294356}{(1+0,000367t)} 760$, входящей в уравнение (4) для вычисления плотности воздуха метеорологическим способом.

Температура.	Десятые доли градуса.										
	Целые градусы.	0°,0	0°,1	0°,2	0°,3	0°,4	0°,5	0°,6	0°,7	0°,8	0°,9
		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10°	164281	164223	164165	164107	164049	163991	163933	163875	163817	163759	
11°	163701	163644	163586	163528	163471	163413	163355	163298	163240	163183	
12°	163126	163068	163011	162954	162897	162840	162782	162726	162668	162611	
13°	162554	162497	162441	162384	162327	162270	162213	162157	162100	162043	
14°	161987	161931	161874	161818	161761	161705	161649	161592	161536	161480	
15°	161424	161368	161312	161256	161200	161144	161088	161032	160976	160920	
16°	160864	160808	160753	160697	160642	160586	160530	160475	160419	160364	
17°	160308	160253	160198	160142	160087	160032	159977	159922	159866	159811	
18°	159756	159701	159646	159592	159537	159482	159427	159372	159318	159263	
19°	159208	159154	159099	159045	158990	158936	158882	158827	158773	158718	
20°	158664	158610	158556	158502	158448	158394	158339	158285	158231	158177	
21°	158123	158069	158016	157962	157908	157855	157801	157747	157693	157640	
22°	157586	157533	157479	157426	157373	157320	157266	157213	157160	157106	
23°	157053	157000	156947	156894	156841	156788	156735	156682	156629	156576	
24°	156923	156870	156818	156765	156713	156660	156607	156555	156502	156450	
25°	155997	155945	155892	155840	155787	155735	155683	155630	155578	155525	

Приложение 2.

Таблица для приведения к 0° барометра с латунной шкалой.

Высота барометра.	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°
700 мм	0,1130	0,226	0,339	0,452	0,565	0,678	0,791	0,904	1,017
705 "	0,1138	0,228	0,341	0,455	0,569	0,683	0,797	0,910	1,024
710 "	0,1146	0,229	0,344	0,458	0,573	0,688	0,802	0,917	1,031
715 "	0,1154	0,231	0,346	0,462	0,577	0,692	0,808	0,923	1,039
720 "	0,1162	0,232	0,349	0,465	0,581	0,697	0,813	0,930	1,046
725 "	0,1170	0,234	0,351	0,468	0,585	0,702	0,819	0,936	1,053
730 "	0,1178	0,236	0,353	0,471	0,589	0,707	0,825	0,942	1,060
735 "	0,1186	0,237	0,356	0,474	0,593	0,712	0,830	0,949	1,067
740 "	0,1194	0,239	0,358	0,478	0,597	0,716	0,836	0,955	1,075
745 "	0,1202	0,240	0,361	0,481	0,601	0,721	0,841	0,962	1,082
750 "	0,1210	0,242	0,363	0,484	0,605	0,726	0,847	0,968	1,089
755 "	0,1218	0,244	0,365	0,487	0,609	0,731	0,853	0,974	1,096
760 "	0,1227	0,245	0,368	0,491	0,613	0,736	0,859	0,982	1,104
765 "	0,1235	0,247	0,370	0,494	0,617	0,741	0,864	0,988	1,111
770 "	0,1243	0,249	0,373	0,497	0,621	0,746	0,870	0,994	1,119
775 "	0,1251	0,250	0,375	0,500	0,625	0,751	0,876	1,001	1,126
780 "	0,1259	0,252	0,378	0,504	0,629	0,755	0,881	1,007	1,133
785 "	0,1267	0,253	0,380	0,507	0,634	0,760	0,887	1,014	1,140

Пример. Отчитанная высота барометра 765 мм при $t = 25^\circ$. Поправка будет равна $0,1235 \times 25$ или прямо по таблице: $2,47 + 0,617 = 3,087$ мм, т. е. высота барометра при $0^\circ = 765 - 3,087 = 761,91$ мм. Если t меньше 0° , то поправку надо прибавлять к отчету.

Приложение 3.

Таблица численных значений при различных температурах величины $V - v$, входящих в уравнение (6) для вычисления плотности воздуха несомым способом.

t	V-v														
10°,0	596,571	12°,0	596,601	14°,0	596,630	16°,0	596,660	18°,0	596,690	20°,0	596,720	22°,0	596,750	24°,0	596,779
1	572	1	602	1	612	1	622	1	631	1	641	1	651	1	661
2	574	2	604	2	613	2	623	2	633	2	643	2	653	2	663
3	575	3	605	3	615	3	625	3	635	3	645	3	655	3	665
4	577	4	607	4	616	4	626	4	636	4	646	4	656	4	666
5	578	5	608	5	618	5	628	5	638	5	648	5	658	5	668
6	580	6	609	6	619	6	629	6	639	6	649	6	659	6	669
7	581	7	611	7	621	7	631	7	641	7	651	7	661	7	671
8	583	8	612	8	622	8	632	8	642	8	652	8	662	8	672
9	584	9	614	9	624	9	634	9	644	9	654	9	664	9	674
11°,0	596,586	13°,0	596,615	15°,0	596,645	17°,0	596,675	19°,0	596,705	21°,0	596,735	23°,0	596,765	25°,0	596,791
1	587	1	617	1	627	1	637	1	647	1	657	1	667	1	677
2	589	2	618	2	628	2	638	2	648	2	658	2	668	2	678
3	590	3	620	3	630	3	640	3	650	3	660	3	670	3	680
4	592	4	621	4	631	4	641	4	651	4	661	4	671	4	681
5	593	5	623	5	633	5	643	5	653	5	663	5	673	5	683
6	595	6	624	6	634	6	644	6	654	6	664	6	674	6	684
7	596	7	626	7	636	7	646	7	656	7	666	7	676	7	686
8	598	8	627	8	637	8	647	8	657	8	667	8	677	8	687
9	599	9	629	9	639	9	649	9	659	9	669	9	679	9	689

ПЛАТИНОИРИДИЕВАЯ ПОЛУСАЖЕННАЯ МЕРА П4.

Н. И. Адамович.

I. Форма и размеры полусаженн.

Платиноиридиевая полусажень была заказана Д. И. Менделеевым Лондонской фирме *Johnson Matthey & Co*, располагавшей достаточным запасом материала, вполне еходного по составу и свойствам с тем сплавом, который применен для изготовления международного метра и его копий. Этот заказ был вызван соображениями, вытекавшими из разработанного Д. И. Менделеевым плана возобновления прототипов, согласно которому в задачу возобновления прототипа длины входило не только материальное воспроизведение аршина, согласованного с двадцатью восемью (28) английскими дюймами, но и нахождение отношений русских мер к английским и международным (метрическим), т. е. к ярду и метру. Для решения последней задачи простейшим способом требовалась мера, на которой была бы нанесена длина аршина (28 дюймов), ярда (36 дюймов) и метра (39,3701 дюйма) с необходимыми подразделениями. Метод, примененный Главной Палатой мер и весов в 1910 г. для решения упомянутой задачи, рассмотрен ниже.

Платиноиридиевая полусажень представляет собою нарезную меру длины (*a traits*), имеющую в поперечном сечении X-образную форму с открытой нейтральной плоскостью, на которой нанесены черты шириною от 10 до 12 микронов. Это сечение имеет ту же форму и те же размеры, что и международный метр, и определяется двадцатью двумя плоскостями, перенумерованными на рис. 1^{*)}. Общая длина стержня равняется приблизительно 1089,7 миллиметрам или почти 43 дюймам. Весит он около 3480 граммов. На верхней плоскости стержня, обозначенной на рис. 1 цифрой 1, выгравировано:

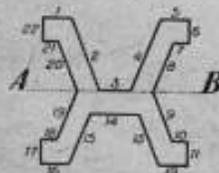


Рис. 1.

$\frac{PlIr}{1894}$
Полусажень

и никаких других надписей или цифровых обозначений нигде на стержне не имеется.

На прилагаемой к статье таблице изображены плоскости № 1, № 3 и № 5 с нанесенными на них штрихами. Длина меры изображена в натуральную величину, а измерения плоскостей в направлении, перпендикулярном к оси меры, увеличены в 10 раз.

Взаимное расположение плоскостей первой и пятой представлено так, как будто они проектируются на плоскость, совпадающую с нейтральной (№ 3), вследствие чего расстояние между ними оказалось равным 4 миллиметрам.

^{*)} Свойства этого сечения и преимущества его пред другими сечениями описаны Д. И. Менделеевым в статье „Ход работ по возобновлению прототипов“ (Временник, ч. 2-я, стр. 163 и 164).

II. Система штрихов.

Сложная система штрихов, имеющих на нейтральной плоскости (№ 3) стержня, была разработана Д. И. Менделеевым и Ф. И. Блумбахом и состоит из делений как метрической шкалы, так и дюймовой.

На внутренней нейтральной плоскости полусажени, во всю длину ее, нарезаны параллельно оси стержня две продольные черты, отстоящие одна от другой приблизительно на 0,5 миллиметра (0,02 дюйма). На левом конце меры метрическая и дюймовая шкалы имеют общее начало, т. е. некоторое деление этой системы штрихов принимается за начальное как в счете дюймовых, так и в счете метрических делений*). Нулевой штрих отстоит от левого конца стержня на 12,4 миллиметра. По обоим сторонам нулевого штриха имеются штрихи, расположение коих представлено на прилагаемой таблице (деталь А).**).

Тожественная совокупность штрихов имеется и на первой наружной плоскости (на которой выгравировано обозначение меры), на пятой же плоскости около этого места промежуток в два миллиметра (деталь Б) разделен во всю длину на двадцать равных частей, а по всей длине плоскости нарезаны миллиметровые деления.

Из таблицы (деталь А) можно усмотреть, что две черточки, отстоящие от начального деления на 0,01 дюйма, протянуты за продольные линии, по середине коих находится воображаемая ось меры, в верх, т. е. в сторону противоположную наблюдателю, находящемуся у лица компаратора и рассматривающему меру невооруженным глазом. Две же черточки, расположенные по обеим сторонам от нулевого штриха на расстоянии полумиллиметра каждая, и две черточки, отстоящие от того же нулевого штриха на один миллиметр, продолжены от оси меры в противоположную сторону, т. е. к наблюдателю. Этим удлинением штрихов дюймовой шкалы вверх, а метрической — вниз, вводится условие, при помощи которого можно в любом месте разделенной поверхности легко распознать, какой шкале принадлежит штрих, рассматриваемый через микроскоп.

Дюймовая шкала полусажени, отнесенная к $16^{\circ},667$ стогоградусной шкалы водородного термометра, содержит все дюймовые подразделения от нуля до 42 дюймов. На этой шкале обращают на себя внимание те части ее, в которых оканчивается:

1) длина аршина	[0 — 28] дюймов.
2) ярда	[0 — 36] .
3) метра	[0 — 39,37] .
4) полусажени	[0 — 42] .

В этих местах разделенной поверхности нанесены более мелкие подразделения. Сравнивая их с соответствующими метрическими подразделениями, счет которых ведется от одного и того же начального деления, принимаемого за общий нуль обоих шкал, можно выразить длину аршина, заключающегося между нулевым штрихом и штрихом 28-го дюйма, а равно и длину ярда, заключающегося между тем же нулевым штрихом и штрихом 36-го дюйма, в метрических единицах.

*) Подобная система делений имеется на одной бронзовой мере (длиною в 40 дюймов), принадлежащей Главной Палате мер и весов и описанной в „Первом перечне образцовых гирь и мер длины“ под № 9 (Временник, ч. 1-я, стр. 97).

**) Данные для таблицы получены путем промеров, произведенных на автоматической делительной машине.

Отрезок в два дюйма [27—29] *) разделен на десятые доли дюйма:

27,0 27,1 27,2 27,3 27,4 27,5 27,6 27,7 27,8 27,9 28,0 дюйма.
28,0 28,1 28,2 28,3 28,4 28,5 28,6 28,7 28,8 28,9 29,0 дюйма.

Промежуток между 27,9 и 28,1 дюйма разделен на сотые части, так как в этом интервале оканчивается отрезок (0—711,2) миллиметров, соответствующий одному аршину:

27,90 27,91 27,92 27,93 27,94 27,95 27,96 27,97 27,98 27,99 28,00 дюйма.
28,00 28,01 28,02 28,03 28,04 28,05 28,06 28,07 28,08 28,09 28,10 дюйма.

Отрезок в два дюйма [35—37] также разделен на десятые доли дюйма:

35,0 35,1 35,2 35,3 35,4 35,5 35,6 35,7 35,8 35,9 36,0 дюйма.
36,0 36,1 36,2 36,3 36,4 36,5 36,6 36,7 36,8 36,9 37,0 дюйма.

Промежуток от 35,9 по 36,1 дюйма разделен на сотые части дюйма, так как в этом интервале оканчивается отрезок (0—914,4) миллиметров, соответствующий одному ярду:

35,90 35,91 35,92 35,93 35,94 35,95 35,96 35,97 35,98 35,99 36,00 дюйма.
36,00 36,01 36,02 36,03 36,04 36,05 36,06 36,07 36,08 36,09 36,10 дюйма.

Сороковой дюйм разделен на десятые части дюйма:

39,0 39,1 39,2 39,3 39,4 39,5 39,6 39,7 39,8 39,9 40,0 дюйма.

Промежуток от 39,3 дюйма по 39,4 дюйма разделен на сотые части дюйма, так как в этом интервале оканчивается отрезок в один метр (39,37 дюйма):

39,30 39,31 39,32 39,33 39,34 39,35 39,36 39,37 39,38 39,39 39,40 дюйма.

Промежуток от 41 дюйма по 42,1 дюйма разделен на десятые части:

41,0 41,1 41,2 41,3 41,4 41,5 41,6 41,7 41,8 41,9 42,0 42,1 дюйма.

Промежуток от 41,9 по 42,1 дюйма разделен на сотые части, так как в этом интервале оканчивается метр, заключающийся между штрихом $\frac{2}{3}$ дециметра и штрихом $10\frac{2}{3}$ дециметра:

41,90 41,91 41,92 41,93 41,94 41,95 41,96 41,97 41,98 41,99 42,00 дюйма.
42,00 42,01 42,02 42,03 42,04 42,05 42,06 42,07 42,08 42,09 42,10 дюйма.

Штрих 42,1 дюйма представляет собою последний штрих дюймовой шкалы. Таким образом всех штрихов дюймовой шкалы, нарезанных на нейтральной плоскости (№ 3) стержня, оказывается 163.

Метрическая шкала полусаженной меры, верная при 0°, содержит некоторые штрихи, совпадающие с соответствующими штрихами дюймовой шкалы. Такие штрихи протянуты за продольные черты в обе стороны и считаются за два отдельные. Таковы, например, штрихи 36-го дюйма и 914,4 миллиметра, 28-го дюйма и 711,2 мм и другие.

Метрическая шкала представлена в следующем виде:

1. По обоим сторонам нулевого деления имеются четыре штриха, о которых было упомянуто выше.

2. Имеются все подразделения целых дециметров:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 дециметров.

*) В дальнейшем изложении введем прямые скобки, которые при двух числах, разделенных горизонтальной чертой, будут соответствовать промежуткам, измеряемым дюймами.

3. Имеются подразделения на четверти метра:

25 50 75 100 сантиметров.

4. Имеются подразделения в $\frac{1}{3}$ и $\frac{2}{3}$ дециметра на левом конце меры и им соответствующие $10\frac{1}{3}$ и $10\frac{2}{3}$ дециметра на правом конце.

Метр, заключающийся между двумя штрихами, соответствующими одной трети ($\frac{1}{3}$) дециметра и десяти с третьей ($10\frac{1}{3}$) дециметра, так расположен относительно концов стержня, что расстояния этих последних до означенных штрихов (в $\frac{1}{3}$ и $10\frac{1}{3}$ дециметра) одинаковы и поэтому в дальнейшем изложении он называется симметричным.

В таком же смысле говорится о симметричном ярдине, заключающемся между 7-м и 35-м дюймами и о симметричном ярде, заключающемся между 3-м и 39-м дюймами.

Симметричный метр, обозначаемый П ($\frac{1}{3}$ — $10\frac{1}{3}$) дециметра, тщательно сличен с копиями международного метра как в Главной Палате, так и в Международном Бюро мер и весов^{*}.

5. Восьмой дециметр разделен на сантиметры (деталь Г):

70 71 72 73 74 75 сантиметров.

6. Сантиметр 72-й разделен на миллиметры, так как в интервале (71—72) см оканчивается ярдин, равняющийся 711,2 миллиметра (деталь Г интервала [27—29] дюймов):

710 711 712 713 714 715 716 717 718 719 720 миллиметров.

7. Десятый дециметр разделен на сантиметры:

90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 сантиметров.

8. Кроме того, на протяжении десятого дециметра нарезаны штрихи, соответствующие $9\frac{1}{3}$, $9\frac{2}{3}$, $9\frac{1}{7}$ и $9\frac{2}{7}$ дециметра (деталь Д). Предпоследняя черта представляет собою интерес потому, что на ней оканчивается ярд, обозначаемый П [0—36] дюймов.

9. Так как ярд равен 91,44 сантиметра, то 92-й сантиметр разделен на миллиметры (деталь Д интервала [35—37] дюймов):

910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 миллиметров.

10. Отрезок (99 — 101) см разделен также на миллиметры (деталь Е интервала (99 — 102) см):

990 991 992 993 994 995 996 997 998 999 1000 миллиметров.
1000 1001 1002 1003 1004 1005 1006 1007 1008 1009 1010 миллиметров.

11. В промежутке от 101 см до 107 см имеются сантиметровые подразделения:

102 103 104 105 106 107 сантиметров.

12. Наконец, отрезок (1060 — 1070) мм разделен во всю длину на миллиметры, так как в этом промежутке оканчивается метр, заключающийся между $\frac{2}{3}$ и $10\frac{2}{3}$ дециметра и длина полусаженн [0 — 42] дюйма (деталь Ж интервала от 104 см до конца меры):

1060 1061 1062 1063 1064 1065 1066 1067 1068 1069 1070 миллиметров.

Черта 1070-го миллиметра является последним делением метрической шкалы на нейтральной плоскости. От этого штриха до правой плоскости среза стержня остается еще 7,3 мм. Всех штрихов на этой шкале оказывается 90, что вместе с 163 штрихами дюймовой шкалы дает на нейтральной плоскости 253 штриха.

^{*} Начальный штрих этого метра (т. е. $\frac{1}{3}$ дециметра) имеет толщину большую, чем все остальные (около 15 микронов).

Однако, в виду того, что некоторые штрихи обоих шкал совпадают, что показано отчетливо на деталях, в действительности на плоскости № 3 общее число штрихов на семь меньше, т. е. на нейтральной плоскости всего нарезано 246 штрихов.

Совпадающими штрихами оказываются следующие *):

1. Начальный нулевой штрих обоих шкал (деталь А),
2. Четыре штриха указанные на детали Д, а именно:

а) 912-й миллиметр и 35,91 дюйма.
б) 913-й " и 35,95 "
в) 914-й " и 35,99 "
г) $9\frac{1}{7}$ дециметра и 36,00 "

3. Один штрих на детали Е, именно 993-й миллиметр и 39,1 дюйма,
4. Один штрих на детали Ж, именно $10\frac{2}{3}$ дециметра и 42 дюйма.

Все штрихи представлены на таблице в трех красках: зеленой краской изображены штрихи дюймовой шкалы, красной — метрической шкалы, черной — разные вспомогательные линии, например, продольные линии, параллельные оси меры, а также контур стержня, вспомогательный пунктир и т. п.

Длина штрихов в направлении, перпендикулярном к оси меры, в редких случаях превосходит 2 мм; обыкновенно же длина их только немного больше полумиллиметра, причем дюймовые штрихи всегда короче миллиметровых.

Прежде, чем перечисленные выше штрихи были нарезаны на нейтральной плоскости полусаженной меры, Ф. И. Блумбах выполнил проверку всех таких же штрихов на бронзовой полусаженке, специально изготовленной фирмой Траутон и Симмс для этой цели. С бронзовой полусаженки система штрихов была перенесена на наружную плоскость № 1, снова на них изучена и с необходимыми поправками перенесена Симмсом на нейтральную плоскость.

После перенесения всех штрихов с наружной плоскости на внутреннюю Симмс имел намерение подвергнуть последнюю легкой полировке с той целью, чтобы нарезанные на ней штрихи стали тоньше. Однако это не было осуществлено, вследствие чего поверхность нейтральной плоскости под микроскопом представляется не вполне тщательно полированной, а некоторые штрихи недостаточно равномерными по ширине и глубине их.

Что касается системы штрихов, нарезанных на наружных плоскостях, то как видно из предыдущего, на плоскости № 1 нанесена система, совершенно тождественная с системой нейтральной плоскости, с той лишь небольшой разницей, что после штриха, соответствующего 41,1 дюйма, имеется еще 3 штриха: 42,2, 42,3 и 42,4 дюйма, что показано на детали Ж. Следовательно, на плоскости № 1 всего штрихов нанесено 249.

На плоскости же № 5 нанесена только метрическая шкала, содержащая все миллиметры до 1077-го включительно. При этом, как было упомянуто выше, у начального деления, принимаемого за нуль миллиметровой шкалы, влево и вправо от него отложено по одному миллиметру, разделенному на десятые части. Штрихов соответствующих $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{3}$, $9\frac{1}{7}$, $9\frac{1}{3}$, $9\frac{2}{3}$, $10\frac{1}{3}$ и $10\frac{2}{3}$ дециметра на этой плоскости не имеется; поэтому общее число штрихов, нарезанных на 5-й плоскости, равняется 1098. Черты, обозначающие сантиметры и дециметры, на этой плоскости имеют одинаковую длину около $1\frac{1}{2}$ мм и, следовательно, ничем друг от друга не отличаются. Удлиненные же штрихи, как, например, нулевой и метровый, имеют протяжение не более 2 миллиметров. Следует отметить, что у штриха, соответствующего

*) Подобные совпадения штрихов объясняются, с одной стороны, тем, что метрическая и дюймовая шкалы отнесены к разным температурам: первая — к нулю, а вторая — к $16^{\circ},667$, а с другой стороны, тем, что два очень близкие штриха не могли быть воспроизведены раздельно, вследствие значительной их толщины.

одному метру, нарезаны десятые части миллиметра с выделением удлиненными штрихами миллиметра, несимметричного относительно метрового штриха, как показано на детали В.

На остальных плоскостях стержня продольные черты нарезаны не во всю длину, а только в некоторых частях на небольшом протяжении. На 6-й плоскости имеется три попечечных штриха; из них 1-й на расстоянии приблизительно 45,3 мм от левого конца стержня, второй — на 58,5 мм и третий — на 1045,3 мм. Расстояние между первым и третьим штрихами очень близко к одному метру. На 11-ой плоскости сделано очень много пробных штрихов, расположенных по длине неравномерно и, повидимому, не имеющих определенного значения. Из них можно выделить два штриха, расстояние между которыми также очень близко к одному метру. Первый из них отстоит от левого конца стержня на расстоянии 46 мм, а второй — на 1000 мм дальше. На 17-й плоскости продольные черты, нарезанные только в двух местах: в начале и в конце меры, имеют протяжение около 1,5 сантиметра. Нулевой штрих отстоит от левого конца стержня на расстоянии 46,1 мм, а следующий на 1000 мм дальше. Подобные два штриха имеются и на 22-й плоскости; первый из них отстоит от левого конца стержня на 48,3 мм, а следующий на 1000 мм дальше. Исследование метров, нарезанных на плоскостях № 6, № 11, № 17 и № 22, не было произведено, хотя оно могло бы представить некоторый интерес, например, для выяснения вопроса об изменении прогиба стержня с течением времени.

III. Компаратор.

Все работы, связанные с возобновлением прототипа длины, были произведены на устаревшем компараторе Главной Палаты мер и весов, приобретенном ею еще в 1877 году у английской фирмы Траутон и Симмс и проверенном в Лондонском Standards Office.

Этот компаратор был установлен в центральной комнате Главной Палаты, отделенной от наружных стен двумя рядами комнат и широкими коридорами. Так как в этом помещении (без окон) нет никаких калориферов, то при нормальных условиях легко поддерживать ее температуру постоянной в пределах 2—3 градусов в течение всего года. Для установки компаратора по середине комнаты (8,5 м × 8,5 м) был возведен на каменной кладке массив из известкового камня, оканчивающийся на уровне пола площадкой, длина которой равна 4 метрам, а ширина — 2½ метрам. Этот массив не связан со сводами пола, а отделяется от него нешироким пространством (меньше одного дециметра), заложением, во избежание воздушных потоков, мягким войлоком. Основание массива покоится на бутовой кладке (ниже поверхности почвы на 2½ метра), укрепленной глубоко забитыми сваями. В подвальном этаже массив, значительно уширяющийся, отделен от соседних помещений коридором и двумя рядами глухих кирпичных стен обыкновенной толщины.

Компаратор Траутона и Симмса состоит из двух существенных частей: одна из них назначена для поддержания изучаемых штриховых мер длины и для перемещения их по трем взаимно перпендикулярным направлениям; другую часть составляют микроскопы (с микрометрами), посредством которых наблюдаются штрихи на мерах и отмечается их относительное положение.

Для осуществления первого назначения на северной части вышеупомянутой площадки были заложены две стальные полосы, из коих передняя (треугольного сечения) имела длину около 4 метров, а задняя (прямоугольного сечения) — около 2 метров. Вдоль этих полос, как по рельсам, могла перемещаться на трех колесах чугунная тележка (жесткая рама), причем два колеса шли по передней полосе, а одно — по задней. Перемещение тележки производилось рукою, при помощи

зубчатой передачи, имеющейся на каждом из колес, движущихся по передней полосе. Тележка несла на себе три параллельных трехгранных стержня (длиною около 450 сантиметров), неизменно скрепленных с нею. По этим стержням может двигаться на катках чугунная рама, на которой располагался, при помощи двух стоек, ящик с мерами длины, подлежащими сличению. В каждой стойке имелось по вертикальному винту для подымания и опускания всего ящика.

Последний состоял из чугунного основания (в виде доски $369 \text{ см} \times 3 \text{ см} \times 30 \text{ см}$) с приделанными к нему откидными стенками из красного дерева. К нижней поверхности чугунной доски присоединены два механизма, расположенные в правой части ее и служащие для плавного передвижения этой доски по отношению к неподвижным стойкам. При помощи одного из них можно было вращением винта сообщать доске небольшое продольное перемещение параллельно ее оси, а при помощи другого (расположенного у правой стойки)—правый конец ящика можно было двигать по дуге круга, центр которого лежит над левой стойкой (на расстоянии около 158 см).

Для помещения изучаемой меры в ящик компаратора привинчивались к нему две медные стойки с поперечным выступом, который можно микрометрически перемещать по вертикальному направлению. Выступы обеих стоек обращались один к другому и на них укладывалась подходящей длины медная балка, верхняя поверхность которой гладко выстрогана. На эту поверхность ставились довольно простого устройства медные подставки, в которые укладывались цапфами легко вращающиеся никелевые катки так, чтобы оси катков были строго параллельны между собою. Так как прогиб стержня меры меняется в зависимости от расстояния между точками опоры, то по указанию Броха*), катки располагаются один от другого на расстоянии, определяемом соотношением:

$$l = 0,55938 L,$$

в котором L обозначает длину меры, укладываемой на катках.

В описанном ящике компаратора исследовались в 1896 и 1897 годах подразделения обеих шкал, имеющих на платиноиридиевой полусаженной, причем расстояние между осями катков, поддерживающих меру, было взято равным 608 мм.

Так как второй существенной частью компаратора являются его микроскопы, то вопрос об оптических качествах этих микроскопов и надежности их установки над мерами представляется одним из основных. Главным требованием, которому должны удовлетворять микроскопы компаратора, является достаточная разрешающая сила их и неизменность расстояния между оптическими осями.

Микроскопы, присланные фирмой Траутон и Симмс, обладали чрезвычайно слабой разрешающей силой и поэтому в 1896 г. объективы этих микроскопов были заменены объективами оптико-механика Готье (Gautier, Paris, Boulevard Arago, 56), у которых числовая апертура была около 0,1. С этими объективами и была произведена вся работа по исследованию подразделений полусаженной меры.

Для укрепления микроскопов было сделано следующее сооружение. Вдоль южной стороны вышеупомянутой каменной площадки были сложены из известкового камня на цементном растворе четыре столба в виде параллелепипедов почти одинакового размера: длиною 92 см, шириною 67 см, а высотой 125 см. На верхнем основании каждого столба были положены отдельные каменные плиты толщиной около 8 см, а длиною около 135 см. Так как эти плиты расположены длинными сторонами перпендикулярно длине каменного массива, то получается навес около 68 см, под который можно подводить чугунную тележку компаратора с ящиком, несущим изучаемые стержни, или передвигать ее вдоль рельса. В свешивающихся частях каменных плит заделаны два ряда металлических гнезд с винтовой нарезкою внутри. Над этими гнездами лежали две чугунные пластины

*) O. I. Broch. Travaux et Mémoires du Bureau International des poids et mesures. Vol. VII, p. 69.

(весом около 30 килограммов каждая) с продолговатыми отверстиями для медных болтов, которыми они и привинчивались к каменным плитам. В свешивающемся конце каждой чугунной пластинки имелся четырехугольный вырез, чрез который пропусклась оправа трубы микроскопа и привинчивалась к пластинке четырьмя медными винтами.

Перемещая тележку компаратора по продольным рельсам, наблюдатель, находящийся у микроскопа, может видеть все подразделения изучаемой меры. Ясно, что во время измерения оба микроскопа должны оставаться неподвижными, и кроме того, оси их, перпендикулярные к оси меры, должны находиться в одной и той же вертикальной плоскости с нею.

Если оптические оси микроскопов установлены на некотором определенном расстоянии одна от другой, равном, например, одному дециметру, то подводя под микроскопы черты, отвечающие дециметровым подразделениям, легко сравнить их между собою. Для этой цели микроскопы снабжаются окулярными микрометрами.

В микрометрах Готье перемещение рабочей пары сетки паутиновых нитей при одном обороте винта равнялось в левом микроскопе 50,035 микрона, а в правом—49,990 микрона. Так как на головке винта имеется сто делений, то одно деление левого микроскопа:

$$\bar{x} = 0,50035 \text{ микрона,}$$

а правого:

$$y = 0,49990 \text{ микрона.}$$

Для сравнения длины, например, двух дециметров между собою в каждом микроскопе фиксируется рабочей парой нитей микрометра положение наблюдаемого штриха и делаются на них соответственные отчеты. При этом изображение штриха должно делить пополам расстояние между обоими витями данной пары нитей. Очевидно, чем тоньше штрих, тем точнее может быть сделано наведение нитей на него. Подводя затем под микроскопы штрихи, определяющие другой дециметр, наблюдатель может, зафиксировав их положение и сделав отчеты на штрихах этого дециметра, рассчитать разность в длине обоих дециметров и выразить ее в микрометрах.

Пусть, например, AB обозначает длину некоторого дециметра, a и b —отчеты, сделанные по микрометрам на штрихах, ограничивающих этот дециметр. Если обозначим расстояние между оптическими осями микроскопов через PQ , то:

$$AB - PQ = a - b,$$

при чем количество $(a-b)$ выражает собою положительную или отрицательную разность между длиной измеряемого дециметра и расстоянием оптических осей микроскопов. Если взять другой дециметр той же меры, то аналогично можно написать:

$$A_1 B_1 - PQ = a_1 - b_1$$

Так как предполагается, что микроскопы во время измерения оставались неподвижными, то величина PQ в обоих случаях одна и также и поэтому можно написать:

$$A_1 B_1 - AB = a_1 - b_1 - a + b$$

или:

$$A_1 B_1 - AB = (a_1 - a) + (b - b_1).$$

В этом выражении количества $(a_1 - a)$ и $(b - b_1)$ выражены в оборотах микрометра. Для того, чтобы выразить разность $A_1 B_1 - AB$ в единицах длины, например, в микрометрах, надо знать среднее значение одного оборота каждого микрометрического винта, а следовательно, и любой его части. Если обозначить цену одного деления на левом микрометре через x , а на правом—через y , то разность $A_1 B_1 - AB$ выразится в выбранных единицах длины следующим образом:

$$A_1 B_1 - AB = (a_1 - a)x + (b - b_1)y.$$

Подобный же прием применялся и при сличении двух мер, расположенных параллельно одна другой. Для этого производилось поперечное (перпендикулярное к рельсам) перемещение чугунной тележки, несущей на себе ящик компаратора. При этом тележка передвигалась непосредственно рукою при помощи струны, намотанной на шкив, который посажен на винт, пропущенный через гайку, неизменно связанную с чугунной тележкой. Один оборот винта перемещал ящик компаратора на 30 мм.

При достаточно точной конструкции прибора означенная тележка должна перемещаться, во-первых, в плоскости строго горизонтальной и, во-вторых, по направлению, перпендикулярному к линии, соединяющей оптические оси обоих микроскопов. К сожалению, конструкция компаратора Траутона и Симмса далеко не удовлетворяла указанным условиям, а именно, при поперечном перемещении чугунной тележки на длину полуметра ящик компаратора опускался на два миллиметра. Вследствие этого расстояние меры от объектива микроскопа изменяется; изображение штриха становится не достаточно ясным, а иногда и вовсе исчезает. Кроме того, три взаимно параллельные стержня, по которым происходит поперечное перемещение тележки, были не вполне параллельны между собою, вследствие этого меры длины, подводимые под микроскопы, скашивались. Это значит, что вертикальная плоскость, проходящая через ось меры, подведенной под микроскопы, не оставалась параллельной вертикальной плоскости, определяемой их оптическими осями, а образовывала с этой плоскостью некоторый двугранный угол. Вследствие этого в измерении длины появлялась погрешность, зависящая от величины этого угла.

Хотя угол скашивания и невелик, однако наличие его сказывалось значительным осложнением работы на компараторе и понижением точности измерений.

IV. Метрическая шкала платиноиридиевой полусаженной меры.

Из метрических подразделений платиноиридиевой полусаженной в 1897 году были исследованы только дециметры. Процесс исследования состоял в последовательном сличении определенной длины отрезка, считаемого от нуля меры и принимаемого за единицу сравнения, с равными ему отрезками по длине этой меры. Тот отрезок, с которым сравниваются все остальные в данной серии измерений, будем называть главным отрезком, или главным промежутком. Результат сличения изучаемых отрезков будем представлять разностью между измеряемым отрезком и главным, выраженной положительным и отрицательным числом микронов.

Протоколы означенных измерений записаны под номерами с 470 по 533. Результаты их (в виде средних арифметических) следующие.

1. Сличение отрезков в один дециметр (№№ 526 — 533):

(1 — 2) dm — (0 — 1) dm	= + 2,79	микрона.
(2 — 3) " — (0 — 1) "	= - 1,05	"
(3 — 4) " — (0 — 1) "	= + 7,10	"
(4 — 5) " — (0 — 1) "	= + 0,28	"
(5 — 6) " — (0 — 1) "	= + 5,13	"
(6 — 7) " — (0 — 1) "	= - 2,96	"
(7 — 8) " — (0 — 1) "	= + 8,75	"
(8 — 9) " — (0 — 1) "	= - 3,15	"
(9 — 10) " — (0 — 1) "	= + 4,44	"

2. Сличение отрезков в два дециметра (№№ 518 — 525):

(1 — 3) dm — (0 — 2) dm	= - 1,53	микрона.
2 — 4) " — (0 — 2) "	= + 1,79	"

(3—5) .	—(0—2) .	= + 3,69	микрона.
(4—6) .	—(0—2) .	= + 2,24	.
(5—7) .	—(0—2) .	= — 1,41	.
(6—8) .	—(0—2) .	= + 2,27	.
(7—9) .	—(0—2) .	= + 1,84	.
(8—10) .	—(0—2) .	= — 2,82	.

3. Сличение отрезков в три дециметра (№№ 510—517):

(1—4) dm	—(0—3) dm	= + 6,76	микрона.
(2—5) .	—(0—3) .	= + 3,36	.
(3—6) .	—(0—3) .	= + 9,76	.
(4—7) .	—(0—3) .	= + 0,40	.
(5—8) .	—(0—3) .	= + 8,78	.
(6—9) .	—(0—3) .	= + 0,81	.
(7—10) .	—(0—3) .	= + 7,44	.

4. Сличение отрезков в четыре дециметра (№№ 502—509):

(1—5) dm	—(0—4) dm	= — 0,77	микрона.
(2—6) .	—(0—4) .	= + 3,07	.
(3—7) .	—(0—4) .	= + 2,75	.
(4—8) .	—(0—4) .	= + 5,72	.
(5—9) .	—(0—4) .	= + 2,76	.
(6—10) .	—(0—4) .	= + 1,29	.

5. Сличение отрезков в пять дециметров (№№ 494—501):

(1—6) dm	—(0—5) dm	= + 5,27	микрона.
(2—7) .	—(0—5) .	= + 0,33	.
(3—8) .	—(0—5) .	= + 10,80	.
(4—9) .	—(0—5) .	= + 1,85	.
(5—10) .	—(0—5) .	= + 5,69	.

6. Сличение отрезков в шесть дециметров (№№ 486—493):

(1—7) dm	—(0—6) dm	= — 1,95	микрона
(2—8) .	—(0—6) .	= + 4,40	.
(3—9) .	—(0—6) .	= + 2,84	.
(4—10) .	—(0—6) .	= + 0,75	.

7. Сличение отрезков в семь дециметров (№№ 478—485):

(1—8) dm	—(0—7) dm	= + 10,27	микрона
(2—9) .	—(0—7) .	= + 4,67	.
(3—10) .	—(0—7) .	= + 9,52	.

8. Сличение отрезков в восемь дециметров (№№ 470—477):

(1—9) dm	—(0—8) dm	= — 2,00	микрона.
(2—10) .	—(0—8) .	= — 0,24	.

9. Отрезок (0—10) дециметров был сличен с симметричным метром, заключающимся между $1/3$ и $10^{1/3}$ дециметров, величина которого известна из сравнения его с копией международного метра № 28. Из многократных сличений в разные эпохи при всевозможных температурах в пределах от $0^{\circ},1$ до $37^{\circ},6$ было найдено, что симметричный метр при нуле градусов короче одного метра на 4,7 микрона, т. е.:

$$\text{П } (1/3 - 10^{1/3}) \text{ дециметров} = 1 \text{ метру} - 4,7 \text{ микрона,}$$

где Π ($1/3-10^{1/3}$) дециметров означает симметричный метр, нарезанный на мере Π 3. Непосредственное сличение последнего с отрезками (0—10) дециметров и ($2/3-10^{2/3}$) дециметров дало возможность найти значение обоих этих метров, из которых метр Π (0—10) дециметров будем называть левым, а Π ($2/3-10^{2/3}$) дециметров — правым. Оказалось, что левый метр:

$$\Pi \text{ (0—10) дециметров} = \Pi \text{ (} 1/3 - 10^{1/3} \text{) дециметров} = 5,54 \pm 0,14,$$

а правый:

$$\Pi \text{ (} 2/3 - 10^{2/3} \text{) дециметров} = \Pi \text{ (} 2/3 - 10^{2/3} \text{) дециметров} = 20,44 \pm 0,14.$$

Из последних двух соотношений следует, что левый метр короче одного метра на 10,2 микрона, а правый — на 25,1 микрона.

Предварительная обработка всех 63 наблюдений, составляющих исследование дециметров на платиноиридиевой полусажене, была сделана лицами, производившими эти измерения (Ф. И. Блумбахом и Н. И. Адамовичем), а окончательная — А. Н. Георгиевским.

Точкою отправления в этих расчетах являлась длина симметричного метра.

Если обозначим через L среднее значение отрезка в один дециметр в первом ряду наблюдений (№№ 526—533), то:

$$\begin{aligned} (0-1) \text{ dm} &= L + \lambda_1 \\ (0-2) \text{ „} &= 2L + \lambda_2 \\ (0-3) \text{ „} &= 3L + \lambda_3 \\ (0-4) \text{ „} &= 4L + \lambda_4 \\ (0-5) \text{ „} &= 5L + \lambda_5 \\ (0-6) \text{ „} &= 6L + \lambda_6 \\ (0-7) \text{ „} &= 7L + \lambda_7 \\ (0-8) \text{ „} &= 8L + \lambda_8 \\ (0-9) \text{ „} &= 9L + \lambda_9 \\ (0-10) \text{ „} &= 10L \end{aligned}$$

где величины $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_9$ представляют собою избытки (положительные или отрицательные) отрезков по отношению к длине соответствующих отрезков:

$$L, 2L, 3L \text{ и т. д.}$$

т. е. поправки этих отрезков.

Обозначив через x_0, x_1, x_2 и т. д. поправки отдельных дециметровых подразделений, получим ряд очевидных равенств:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= x_1 - x_0 \\ \lambda_2 &= x_2 - x_0 \\ \lambda_3 &= x_3 - x_0 \end{aligned}$$

и т. д.

откуда следует, что:

$$\begin{aligned} (0-1) \text{ dm} &= L + x_1 - x_0 \\ (0-2) \text{ „} &= 2L + x_2 - x_0 \\ (0-3) \text{ „} &= 3L + x_3 - x_0 \\ (0-4) \text{ „} &= 4L + x_4 - x_0 \\ (0-5) \text{ „} &= 5L + x_5 - x_0 \\ (0-6) \text{ „} &= 6L + x_6 - x_0 \\ (0-7) \text{ „} &= 7L + x_7 - x_0 \\ (0-8) \text{ „} &= 8L + x_8 - x_0 \\ (0-9) \text{ „} &= 9L + x_9 - x_0 \\ (0-10) \text{ „} &= 10L + x_{10} - x_0 \end{aligned}$$

Любое из соотношений, полученных непосредственным измерением, дает, например:

$$(0-5) \text{ dm} - (1-6) \text{ dm} = -5,27 \text{ микрона.}$$

Если условимся в дальнейшем для краткости опускать наименование единиц измерения и запятые перед десятичными знаками при обозначении микронов, отчего никаких недоразумений возникнуть не может, то приведенное для примера равенство переписывается:

$$(0-5)-(1-6) = -527,$$

что при подстановке выражений этих отрезков через L получит вид:

$$5L + \lambda_5 - (5L + x_4 - x_1) = -527,$$

или:

$$\lambda_5 + x_1 - x_4 = -527^{*)}$$

Рассуждая аналогично относительно каждого из соотношений, полученных непосредственными измерениями, составим следующие 44 уравнения:

		△	
		Набл. — вычисл.**)	
(1)	$\lambda_1 + x_1 - x_2 = -279$	- 13	
	$\lambda_1 + x_1 - x_3 = +105$	- 23	
	$\lambda_1 + x_2 - x_4 = -710$	- 51	
	$\lambda_1 + x_4 - x_5 = -28$	- 17	
	$\lambda_1 + x_5 - x_6 = -513$	+ 28	
	$\lambda_1 + x_6 - x_7 = +296$	+ 46	
	$\lambda_1 + x_7 - x_8 = -875$	+ 28	
	$\lambda_1 + x_8 - x_9 = +315$	+ 24	
	$\lambda_1 + x_9 - x_{10} = -444$	- 22	
	$\lambda_2 + x_1 - x_2 = +153$	- 80	
(2)	$\lambda_2 + x_2 - x_3 = -179$	- 19	
	$\lambda_2 + x_3 - x_4 = -369$	- 70	
	$\lambda_2 + x_4 - x_5 = -224$	- 44	
	$\lambda_2 + x_5 - x_6 = +14$	+ 60	
	$\lambda_2 + x_6 - x_7 = -227$	+ 54	
	$\lambda_2 + x_7 - x_8 = -184^1$	+ 57	
	$\lambda_2 + x_8 - x_{10} = +282$	+ 42	
	$\lambda_3 + x_1 - x_2 = -676$	- 123	
	(3)	$\lambda_3 + x_2 - x_3 = -336$	- 38
		$\lambda_3 + x_3 - x_4 = -976$	- 10
$\lambda_3 + x_4 - x_5 = -40$		+ 17	
$\lambda_3 + x_5 - x_6 = -878$		+ 71	
$\lambda_3 + x_6 - x_7 = -81$		+ 37	
$\lambda_3 + x_7 - x_{10} = -744$		+ 46	
(4)	$\lambda_4 + x_1 - x_2 = +77$	+ 176	
	$\lambda_4 + x_2 - x_3 = -307$	+ 66	
	$\lambda_4 + x_3 - x_4 = -275$	- 25	
	$\lambda_4 + x_4 - x_5 = -572$	- 78	
	$\lambda_4 + x_5 - x_6 = -276$	- 84	
	$\lambda_4 + x_6 - x_{10} = -129$	- 55	
(5)	$\lambda_5 + x_1 - x_2 = -527$	+ 44	
	$\lambda_5 + x_2 - x_3 = -33$	+ 22	
	$\lambda_5 + x_3 - x_4 = -1080$	+ 5	
	$\lambda_5 + x_4 - x_5 = -185$	- 49	
	$\lambda_5 + x_5 - x_{10} = -569$	- 22	

¹⁾ В силу вышесказанного единицей измерения, очевидно, служит одна сотая часть микрона.

²⁾ Значение этого столбца объяснено ниже.

$$\begin{array}{l}
 \lambda_6 + x_1 - x_7 = + 195 \quad + 10 \\
 \text{(6)} \quad \lambda_6 + x_2 - x_8 = - 440 \quad + 11 \\
 \lambda_6 + x_3 - x_9 = - 284 \quad + 3 \\
 \lambda_6 + x_4 - x_{10} = - 75 \quad - 24 \\
 \\
 \lambda_7 + x_1 - x_3 = - 1027 \quad - 24 \\
 \text{(7)} \quad \lambda_7 + x_2 - x_9 = - 467 \quad - 20 \\
 \lambda_7 + x_3 - x_{10} = - 952 \quad + 44 \\
 \\
 \lambda_8 + x_1 - x_9 = + 200 \quad + 10 \\
 \text{(8)} \quad \lambda_8 + x_2 - x_{10} = + 24 \quad - 10
 \end{array}$$

Вышеприведенные уравнения содержат 18 неизвестных:

$$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6, \lambda_7, \lambda_8, \\
 x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}.$$

Поправки для крайних делений принимаем, по общему смыслу калибровки, равными нулю, т.-е. полагаем:

$$x_0 = 0 \text{ и } x_{10} = 0$$

Отсюда следует, что неизвестных, подлежащих определению, остается только 16; кроме того, в виду того, что $x_0 = 0$, оказывается $x_1 = \lambda_1$.

Решение всех указанных уравнений было выполнено А. Н. Георгиевским весьма просто и изящно по схеме, указанной им в 11-ой части Временника Главной Палаты 1915 г. стр. 59.

Для решения этих уравнений составлены таблицы I и II, которые содержат вычисление вспомогательных величин, обозначаемых в указанной статье А. Н. Георгиевского буквами s , t и P . Из них s_2 представляет собою сумму правых частей двух уравнений группы (8), т.-е. $200 + 24 = +224$; s_3 представляет собою сумму правых частей трех уравнений группы (7), т.-е. $-1027 - 467 - 952 = -2446$; s_4 представляет собою сумму правых частей четырех уравнений группы (6) и т. д.

Таблица I.

-279	+153	-676	+77	-527	+195	-1027	+200
+105	-179	-336	-307	-33	-440	-467	+24
-710	-369	-976	-275	-1080	-284	-952	
-028	-224	-40	-572	-185	-75		
-513	+141	-878	+276	-569			
+296	-227	-81	-129				
-875	-184	-744					
+315	+282						
-444							
s_5	s_6	s_7	s_8	s_9	s_{10}	s_{11}	s_{12}
-2133	-607	-3731	-1482	-2394	-604	-2446	+224

Таблица II состоит из двух частей: верхней левой и нижней правой. Первая строка верхней половины включает в себе правые части девяти

уравнений группы (1), т. е. первый столбец таблицы I; вторая строка заключает в себе правые части восьми уравнений группы (2), т. е. второй столбец таблицы I; в третьей строке содержатся семь чисел третьего столбца таблицы I и т. д.

Таблица II.

- 279	+ 105	- 710	- 28	- 513	+ 296	- 875	+ 315	- 444	+ 444
+ 153	- 179	- 369	- 224	+ 141	- 227	- 184	+ 282	- 315	- 282
- 676	- 336	- 976	- 40	- 878	- 81	- 744	+ 875	+ 184	+ 744
+ 77	- 307	- 275	- 572	- 276	- 129	- 296	+ 227	+ 81	+ 129
- 527	- 33	- 1080	- 185	- 569	+ 513	- 141	+ 878	+ 276	+ 569
+ 195	- 440	- 284	- 75	+ 28	+ 224	+ 40	+ 572	+ 185	+ 75
- 1027	- 467	- 952	+ 710	+ 369	+ 976	+ 275	+ 1080	+ 284	+ 952
+ 200	+ 24	- 105	+ 179	+ 336	+ 307	+ 33	+ 440	+ 467	- 24
	+ 279	- 153	+ 676	- 77	+ 527	- 195	+ 1027	- 200	
t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9	t_{10}
- 1884	- 1354	- 4904	+ 441	- 1439	+ 2406	- 2087	+ 5606	+ 518	+ 2607
$t_1 + t_{10}$	$t_2 + t_9$	$t_3 + t_8$	$t_4 + t_7$	$t_5 + t_6$	$t_6 - t_6$	$t_7 - t_7$	$t_8 - t_8$	$t_9 - t_9$	$t_{10} - t_{10}$
+ 723	- 836	+ 792	- 1646	+ 967	- 3845	+ 4493	- 7783	+ 5178	- 2089
	$10(P_9 - P_{10})$	$10(P_8 - P_{10})$	$10(P_7 - P_{10})$	$10(P_6 - P_{10})$					
	- 1559	+ 69	- 2369	+ 244					
P_{10}	$P_9 - P_{10}$	$P_8 - P_{10}$	$P_7 - P_{10}$	$P_6 - P_{10}$					
- 213,3	- 155,9	+ 6,9	- 236,9	+ 24,4					
	P_9	P_8	P_7	P_6					
	- 369,2	- 206,4	- 459,2	- 188,9					

По диагоналям нижней правой половины таблицы II, начиная слева снизу, расположены числа тех же столбцов таблицы I, но только с обратными знаками. Сумма чисел первого столбца составленной таким образом таблицы II дает величину t_1 ; сумма чисел второго столбца дает t_2 и т. д. После этого составляются величины P .

$$P_{10} = x_{10} + x_1$$

$$P_{10} = x_1 = A_1$$

Так как $x_{10} = 0$,

$$P_9 = P_{10} + \frac{t_2 + t_9 - (t_1 + t_{10})}{10}$$

$$P_8 = P_{10} + \frac{t_3 + t_8 - (t_1 + t_{10})}{10}$$

и т. д.

Проверка вычислений для величин s , t и P основывается на соотношениях:

$$9(t_1 - t_{10}) + 7(t_2 - t_9) + 5(t_3 - t_8) + 3(t_4 - t_7) + t_5 - t_6 = 2 (s_0 + 2s_1 + 3s_2 + 4s_3 + 5s_4 + 6s_5 + 7s_6 + 8s_7)$$

и

$$t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_{10} = 0$$

$$P_{10} + P_9 + P_8 + P_7 + P_6 = 5P_{10} - \frac{1}{2}(t_1 + t_{10})$$

Проверка для s и t .

9 ($t_1 - t_{10}$)	- 40419	s_9	- 2133
7 ($t_2 - t_0$)	- 13104	2 s_8	- 1214
5 ($t_3 - t_8$)	- 53000	3 s_7	- 11193
3 ($t_4 - t_7$)	+ 7584	4 s_6	- 5928
$t_5 - t_6$	- 3845	5 s_5	- 11970
	- 102784	6 s_4	- 3624
		7 s_3	- 17122
		8 s_2	+ 1792
			- 51392

$$\Sigma t = -11668 + 11668 = 0$$

Проверка для P .

P_{10}	- 213,3
P_7	- 369,2
P_8	- 206,4
P_7	- 450,2
P_8	- 188,9

$$- 1428,0 = - 1066,5 - 361,5$$

Таблица III представляет собой решение системы уравнений, при чем в ней

$$R_{10} = x_{10} - x_1 = -x_1 = -\lambda_1;$$

$$R_9 = R_{10} + x_2 - x_3;$$

$$R_8 = R_{10} + x_4 - x_5$$

и т. д.

Ход решения имеет направление по столбцам сверху вниз. Прежде всего определяется λ_1 (соответственно данным первого столбца) по соотношению:

$$\lambda_1 = \frac{s_9 + x_{10} - x_1}{9} = \frac{s_9 - \lambda_1}{9},$$

откуда:

$$\lambda_1 = \frac{s_9}{10}.$$

Для определения x_9 служит равенство:

$$x_9 = \frac{t_9 - t_{10} - \lambda_1 + x_1 + 9x_{10}}{10} = \frac{t_9 - t_{10}}{10}.$$

Принимая во внимание, что:

$$P_9 = x_2 + x_5,$$

находим:

$$-x_4 = x_9 - P_9.$$

Во втором столбце отыскиваем сперва R_9 , затем определяем λ_2 и λ_3 из соотношений:

$$\lambda_2 = \frac{R_9 + s_2}{2}$$

и

$$\lambda_3 = \frac{R_9 + s_3}{8}.$$

Сумма:

$$- (\lambda_2 + \lambda_3) + (t_2 - t_9)$$

дает величину:

$$10 (x_2 - x_9)$$

откуда по найденному раньше x_0 определится x_8 . Наконец, суммируя x_8 и $-P_0$ найдем $-x_9$.

В третьем столбце таблицы III определяются последовательно

$$R_8, \lambda_7, \lambda_8, x_8 \text{ и } -x_9$$

и т. д.

Последний столбец (пятый) содержит проверку вычислений λ_8 по формуле:

$$\text{то } (x_7 - x_8) = t_7 - t_8 - 2\lambda_8,$$

Проверка вычислений величины x основана на соотношении:

$$x_1 + x_2 + \dots + x_{10} = 5P_{10} - (t_1 + t_{10}) = P_0 + P_2 + P_4 + P_6 + P_8.$$

В результате для λ и x получаются следующие значения:

$\lambda_1 = -213$	$x_1 = -213$
$\lambda_2 = -55$	$x_2 = -160$
$\lambda_3 = -396$	$x_3 = -501$
$\lambda_4 = -143$	$x_4 = -56$
$\lambda_5 = -280$	$x_5 = -258$
$\lambda_6 = +5$	$x_6 = +69$
$\lambda_7 = -495$	$x_7 = -394$
$\lambda_8 = +194$	$x_8 = +295$
	$x_9 = -209$

После подстановки найденных значений для λ и x в основные 44 уравнения получаем в левых частях последних числа, позволяющие оценить погрешности наблюдений, т. е. разности (Δ) между наблюдаемыми и вычисленными числами микронов. Эти разности приведены выше при уравнениях (1) — (8).

Вероятная погрешность v наблюдения составляет:

$$v = \pm 0,6745 \sqrt{\frac{2 [\Delta\Delta]}{(n-1)(n-2)}},$$

или:

$$v = \pm 0,6745 \sqrt{\frac{2 \times 55669}{8 \times 7}},$$

что дает:

$$v = \pm 0,30\mu.$$

Вероятная погрешность для отдельных поправок x_i и λ_k вычисляется по теории вероятностей и представляется в виде произведения величины v на некоторый коэффициент, зависящий от чисел i , k и n^* .

Согласно этому можно получить:

$$\begin{aligned} v(x_1) = v(x_9) &= \pm 0,13\mu \\ v(x_2) = v(x_8) &= \pm 0,13\mu \\ v(x_3) = v(x_7) &= \pm 0,12\mu \\ v(x_4) = v(x_6) &= \pm 0,12\mu \\ v(\lambda_1) &= \pm 0,1\mu \end{aligned}$$

Непосредственное сличение отрезка $(1/3 - 10^4/3)$ дециметров с отрезком $(0 - 10)$ дециметров дало для последнего, как среднее из 22 рядов измерений, соотношение:

$$(0 - 10) \text{ дециметров} = (1/3 - 10^4/3) \text{ дециметров} = -5,49\mu$$

Принимая во внимание, что по сличениям с копией международного метра № 28 отрезок:

$$(1/3 - 10^4/3) \text{ дециметров} = 1 \text{ метру} = 4,7\mu$$

* См. Travaux et Mémoires du Bureau International des poids et mesures. Vol V, p. 31. 1886.

получим для отрезка (0—10) дециметров следующее значение:

$$(0-10) \text{ дециметров} = 10 L = 1 \text{ метру} - 4,7\mu - 5,49\mu = 1 \text{ метру} - 10,19\mu.$$

отсюда:

$$L = 1 \text{ дециметру} - 1,019\mu$$

Ниже приведены значения всех дециметровых и главных отрезков полусаженной меры и вероятные погрешности их:

(0—1) dm = 1 dm	- 3,14 μ
(1—2) " = 1 "	- 0,48 μ \pm 0,23 μ
(2—3) " = 1 "	- 4,42 μ \pm 0,26 μ
(3—4) " = 1 "	+ 3,44 μ \pm 0,25 μ
(4—5) " = 1 "	- 3,03 μ \pm 0,24 μ
(5—6) " = 1 "	+ 2,26 μ \pm 0,23 μ
(6—7) " = 1 "	- 5,64 μ \pm 0,24 μ
(7—8) " = 1 "	+ 5,88 μ \pm 0,25 μ
(8—9) " = 1 "	- 6,05 μ \pm 0,26 μ
(9—10) " = 1 "	+ 1,08 μ \pm 0,13 μ
(0—2) dm = 2 dm	- 3,64 μ \pm 0,13 μ
(0—3) " = 3 "	- 8,07 μ \pm 0,13
(0—4) " = 4 "	- 4,64 μ \pm 0,12
(0—5) " = 5 "	- 7,67 μ \pm 0,12
(0—6) " = 6 "	- 5,42 μ \pm 0,12
(0—7) " = 7 "	- 11,07 μ \pm 0,12
(0—8) " = 8 "	- 5,20 μ \pm 0,13
(0—9) " = 9 "	- 11,26 μ \pm 0,13
(0—10) " = 10 "	- 10,19 μ

V. Дюймовые подразделения платиноиридиевой полусаженной меры.

Ближайшей целью предпринятого в 1896 г. исследования дюймовых подразделений платиноиридиевой полусаженной было определение значений тех отрезков на ней, значение которых требовалось ходом работ по возобновлению прототипа длины. Такими величинами являлись следующие:

1. Длина аршина П [0—28] дюймов.
2. " " П [7—35] "

Результаты непосредственных измерений, произведенных при продольном перемещении тележки компаратора под его микроскопами, могут быть выражены следующими соотношениями:

1. Отрезки по шесть дюймов (наблюдения №№ 411—416):

[6—12] дюймов - [0—6] дюймов	= - 3,29 микрона.
[12—18] " - [0—6] "	= + 1,98 "
[18—24] " - [0—6] "	= - 2,29 "
[24—30] " - [0—6] "	= - 3,05 "
[30—36] " - [0—6] "	= - 0,68 "
[36—42] " - [0—6] "	= - 1,21 "

2. Отрезки по 14 дюймов (наблюдения №№ 405—410):

[5—19] дюймов - [0—14] дюймов	= - 7,64 микрона
[14—28] " - [0—14] "	= - 5,02 "
[19—33] " - [0—14] "	= - 2,15 "
[28—42] " - [0—14] "	= - 4,98 "

3. Отрезки по 28 дюймов (наблюдения №№ 423—432):

$$\begin{aligned} [3-33] \text{ дюймов} - [0-28] \text{ дюймов} &= -5,58 \text{ микрова.} \\ [7-35] \text{ " } - [0-28] \text{ " } &= -1,35 \text{ " } \\ [14-42] \text{ " } - [0-28] \text{ " } &= -2,83 \text{ " } \end{aligned}$$

4. Наконец, были измерены отрезки длиной в 36 дюймов, т. е. в 1 ярд (наблюдения №№ 418—422):

$$\begin{aligned} [3-39] \text{ дюймов} - [0-36] \text{ дюймов} &= -0,69 \text{ микрова.} \\ [6-42] \text{ " } - [0-36] \text{ " } &= +0,23 \text{ " } \end{aligned}$$

Длина симметричного ярда [3—39] дюймов была определена непосредственным сличением его с основным прототипом английского ярда (Imperial Standard Yard) № 1. Это сличение было произведено в Лондоне в Standards Department в 1895 г. Ченеем (Chapey), Д. И. Менделеевым, Ф. И. Блумбахом и Стансфильдом (наблюдения №№ 1025—1045). Результат этой работы приведен в протоколе, составленном Д. И. Менделеевым 28 сентября (нов. стиля) 1895 г. и помещенном в 3-й части Временника (стр. 104—107).

В означенном протоколе сказано, что при 62° шкалы Фаренгейта (т. е. нормальной температуре для длины ярда), или при 16°,667 по стогоградусной шкале водородного термометра, расстояние между третьим (3-м) и тридцатьдевятым (39-м) дюймами на полусаженной мере равно:

$$\Pi [3-39] \text{ дюймов} = 1 \text{ ярду} - 9,1\mu = 35,999642 \text{ дюймам.}$$

При этом определении лицами, подписавшими протокол, сделана следующая оговорка:

„Так как вопрос о тождественности нормальной температуры 62°F и 16°,667 С по стогоградусной шкале водородного термометра в настоящее время не может быть рассматриваем, как окончательно решенный, то в этом отношении настоящий отчет мы считаем предварительным“.

В виду того, что по предмету приведенного замечания не было предпринято никаких дополнительных исследований, во всех расчетах, связанных с означенным ярдом, всегда принималось вышеуказанное уравнение.

Поэтому на основании данных соотношений (4) можно получить:

$$[0-36] \text{ дм.} = [3-39] \text{ дм.} + 0,69\mu,$$

откуда:

$$[0-36] \text{ дм.} = 1 \text{ ярду} - 9,10\mu + 0,69\mu = 1 \text{ ярду} - 8,41\mu \dots \dots \dots (1)$$

Аналогично найдем:

$$[6-42] \text{ дм.} = [0-36] \text{ дм.} + 0,23\mu,$$

откуда:

$$[6-42] = 1 \text{ ярду} - 8,41\mu + 0,23\mu = 1 \text{ ярду} - 8,18\mu \dots \dots \dots (2)$$

Суммирование обеих частей соотношений (1) дает:

$$[6-42] \text{ дм.} - 6 [0-6] \text{ дм.} = -8,54\mu,$$

откуда:

$$6 [0-6] \text{ дм.} = [6-42] \text{ дм.} + 8,54\mu,$$

или:

$$6 [0-6] \text{ дм.} = 1 \text{ ярду} - 8,18\mu + 8,54\mu = 1 \text{ ярду} + 0,36\mu.$$

Очевидно, что средняя величина отрезка в шесть дюймов выразится:

$$[0-6] \text{ дм.} = 1/6 \text{ ярда} + 0,06\mu \dots \dots \dots (3)$$

Суммирование обеих частей формул (2) и (3) дает:

$$[0-42] \text{ дм.} = 1 1/6 \text{ ярда} - 8,12\mu \dots \dots \dots (4)$$

что представляет собою общую длину сорока двух дюймов на платиноиридиевой полусаженной. Итак:

$$\Pi [0-42] \text{ дюйма} = 42 \text{ дюймам} - 8,12 \text{ микрова.}$$

Для вывода длины левого аршина:

и симметричного аршина: П [0 — 28] дюймов

П [7 — 35] дюймов

проще всего использовать сличения отрезков по четыре дюйма (наблюдения №№ 433—444):

[4 — 8] дм.	= [0 — 4] дм.	+ 0,83 микрона.
[8 — 12] "	= [0 — 4] "	- 5,96 "
[12 — 16] "	= [0 — 4] "	+ 1,67 "
[16 — 20] "	= [0 — 4] "	- 3,77 "
[20 — 24] "	= [0 — 4] "	+ 0,71 "
[24 — 28] "	= [0 — 4] "	- 0,64 "
[28 — 32] "	= [0 — 4] "	+ 0,55 "
[32 — 36] "	= [0 — 4] "	- 4,14 "

Прибавив к этим равенствам тождество:

$$[0 — 4] \text{ дюйма} = [0 — 4] \text{ дюйма}$$

и суммируя их, находим:

$$[0 — 36] \text{ дм.} = 9 [0 — 4] \text{ дм.} - 10,15 \mu \dots \dots \dots (5)$$

Сравнивая (5) и (1), находим:

$$9 [0 — 4] \text{ дм.} = 1 \text{ ярд} + 1,74 \mu$$

откуда:

$$[0 — 4] \text{ дм.} = \frac{1}{9} \text{ ярда} + 0,19 \mu \dots \dots \dots (6)$$

Если составить на основании измерений четырехдюймовых отрезков длину двадцати восьми дюймов, то получим:

$$[0 — 28] \text{ дм.} = 7 [0 — 4] \text{ дм.} - 6,56 \mu$$

что по равенству (6) дает:

$$[0 — 28] \text{ дм.} = \frac{7}{9} \text{ ярда} - 5,23 \mu$$

Итак аршин на полусажени:

$$\text{П [0 — 28] дм.} = 28 \text{ дюймам} - 5,23 \text{ микрона} \dots \dots \dots (7)$$

Пользуясь последним равенством и вторым соотношением из группы (3), непосредственно находим, что симметричный аршин:

$$\text{П [7 — 35] дм.} = 28 \text{ дюймам} - 6,58 \text{ микрона}^*) \dots \dots \dots (8)$$

Этот последний отрезок в 28 дюймов играл существенную роль в выяснении длины платинопридневых стержней, № 39, № 40 и № 42 послуживших для установления прототипа аршина и его двух основных копий. Сличение этих стержней с симметричным аршином П [7 — 35] дюймов на полусажени, произведенное в 1898 году, послужило поводом для повторения калибровки дюймовых подразделений. При расчете этих сличений (наблюдения №№ 794—841) было замечено, что длина означенных стержней систематически оказывалась различной в зависимости от взаимного расположения их в ящике компаратора. Колебания в длине изучаемых мер, достигавшие приблизительно 4,5 микрон, могли быть объяснены только деформацией столбов компаратора, на которых лежали плиты, несущие на себе микроскопы. Упомянутая деформация вызывалась перемещением центра тяжести подвижной системы, когда под микроскопы подводились сличаемые меры. Маятниковобразные колебания столбов компаратора, а следовательно, и находящихся на них микроскопов, могли послужить источником

^{*} Приведенный расчет дюймовых подразделений полусажени был в 1923 г. повторен А. Н. Георгиевским.

ошибок, трудно поддающихся точному учету. Для устранения возможности таких колебаний было решено соединить два средние столба добавочной мраморной плитой. Последняя имела размеры: 148 см в длину, 53 см в ширину, и 7,5 см в толщину. На эту плиту были уложены чугунные пластинки с заделанными в них микроскопами. После установки микроскопов на добавочной мраморной плите (15 мая 1901 г.) изгиб столбов стал настолько малым, что проследить его не удалось, так как он меньше одной секунды по дуге.

Устранив таким образом предполагаемый источник ошибок, возникавших при поперечном перемещении тележки компаратора, наблюдатели имели основание ожидать, что подобные же колебания осей микроскопов могли происходить и при продольном передвижении ее, которое производилось при изучении подразделений полусажени. Поэтому решено было повторить калибровку дюймов, причем было намечено, в 1-х — главный отрезок брать не от нулевого штриха меры, а от 3-го дюйма, и во 2-х — измерить отрезки по 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28 и 32 дюйма. План этой калибровки можно представить нижеследующей схемой, понятной после всего вышесказанного без всяких объяснений:

3—7	3—11	3—15	3—19	3—23	3—27	3—31	3—35
7—11	7—15	7—19	7—23	7—27	7—31	7—35	7—39
11—15	11—19	11—23	11—27	11—31	11—35	11—39	
15—19	15—23	15—27	15—31	15—35	15—39		
19—23	19—27	19—31	19—35	19—39			
23—27	23—31	23—35	23—39				
27—31	27—35	27—39					
31—35	31—39						
35—39							

Представляемый этой схемой план калибровки полусаженной меры надо признать наиболее целесообразным потому, что он дает непосредственно длину симметричного аршина, который в предыдущей калибровке вычислялся по левому аршину II [0—28] дюймов, что связано с неизбежным накоплением ошибок.

Выполнение повторной калибровки было предпринято теми же наблюдателями Ф. И. Блумбахом и Н. И. Адамовичем в конце 1910 года, однако спешные работы по изучению большой коллекции геодезических жезлов (из феррониккеля) для Военно-Топографического Отдела бывшего Главного Управления Генерального Штаба отвлекли почти на целый год внимание от калибровки полусажени и поэтому она осталась незаконченной. Тем не менее те серии измерений, которые были произведены в 1910 и 1911 годах, дали возможность установить, что значения симметричного аршина, получаемые из обеих калибровок, в пределах ошибок наблюдений, оказываются совершенно тождественными. Поэтому, впредь, пока не будет вновь выполнена полная калибровка дюймовых подразделений полусажени, необходимо принять длину симметричного аршина, найденную в 1897 году а именно:

$$\text{II [7—35] дм.} = 28 \text{ дюймам} = 6,6 \text{ микрова.}$$

VI. Коэффициент расширения метра II ($1/3—10^{1/3}$) дм.

Определение коэффициента расширения метра II ($1/3—10^{1/3}$) дм было выполнено в 1898 г. (наблюдения №№ 704—711; 721—732; 741—748) путем сличения его на компараторе Траутона и Симмса с копией международного метра № 28. Так как подобную задачу пришлось решать при помощи этого компаратора в первый раз, то при подготовке прибора к работе выяснилась необходимость некоторых конструктивных изменений в его стойках. В виду того, что изготовление металлических частей потребовало бы значительной потери вре-

мени, было решено существовавшие металлические стойки заменить деревянным массивным брусом, склеенным из пропарафинированных досок, свободных от сучков или иных заметных дефектов. Брус имел размеры: 284 см в длину, 71 см в ширину и 30 см в высоту и весил около 300 килограммов. На этом деревянном массиве были установлены два ящика (из сосновых досок), длиной около 360 см, а глубиной около 28 см. Ширина ящика (переднего), лежащего ближе к наблюдателю, равна приблизительно 30 см, а заднего — вдвое меньше. В эти ящики плотно вставлены медные луженые ванны. Внутри каждой из них укреплены на винтах медные скобы, поддерживающие опоры для медных балочек. Передняя широкая ванна по длине разделена на две почти равные части металлическою перегородкою с отверстиями по концам. Как в передней, так и в задней части широкой ванны могут быть уложены балочки с приспособлениями для установки мер длины и для регулировки их по длине, высоте и азимуту. Обе ванны наполнялись по возможности чистой водою, в которую и погружались сличаемые меры длины. Благодаря значительной массе воды в ваннах (в широкой около 300 л, а в узкой — около 120 л) температура ее поддерживалась постоянной тем легче, чем ближе она была к комнатной. Для перемешивания воды, наполняющей ванны, в каждой из них установлено по турбинке с горизонтальным шкивом. Шнуры, охватывающие шкивы, надевались на ось небольшого электродвигателя, который приводил в действие одновременно обе турбинки.

При определении коэффициента расширения метра П ($1/3 - 10^{1/3}$) dm, его длина сличалась при разных температурах с копией международного метра № 28. При этих сличениях метр № 28 находился в воде задней ванны при температуре, которая, в среднем, равнялась $18^{\circ},387$ и всемерно поддерживалась постоянной. Температура же воды в передней ванне, в которой была установлена платино-иридиевая полусажень, менялась в пределах от $0^{\circ},116$ до $37^{\circ},885$. Для измерения температуры воды в ваннах были уложены у метра № 28 термометры Бодена № 13881 и № 13882, а у полусажени — термометры Тоннело № 4313 и № 4314.

Показания всех четырех термометров отчитывались в течение одного наблюдения три раза: в начале (t_1), в конце (t_2) и в середине наблюдения (t_3). Из этих трех отчетов бралось среднее арифметическое и к нему прибавлялась положительная или отрицательная поправка t , вычисляемая по формуле *):

$$t = \frac{2t_2 - (t_1 + t_3)}{3}$$

Исправленная таким образом („за время“) средняя температура переводилась на стоградусную шкалу водородного термометра на основании данных, указанных в сертификатах термометров, по которым температура измерялась. В дальнейшем изложении температура, выраженная в градусах водородной шкалы, отмечается прописною буквою T .

Микрометры, примененные в работе по определению коэффициента расширения метра П ($1/3 - 10^{1/3}$) dm, были весной 1898 г. изучены Н. И. Адамовичем.

Ширина ванн, лежащих на деревянном массивном бруске, даже при сравнительно небольшом расстоянии (около одного дециметра) между ними, настолько затрудняла приближение наблюдателей к окулярам микроскопов, что для производства измерений пришлось устроить особое сооружение, исполненное заводом Сан-Галли. В стены лаборатории, почти у потолка, были заложены два стальные рельса, по которым могла двигаться железная тележка. С последней были соединены четыре тяги, поддерживающие деревянную платформу, которую от руки можно передвигать вдоль ванн. Наблюдатель во время работы располагался на деревянной платформе так, что помощник мог при помощи особой веревки подвозить его к микроскопам компаратора для производства отчетов по микрометрам.

*) См. Travaux et Mémoires du Bureau International des poids et mesures. Vol X, p. VII.

Перемешивание воды производилось только в начале наблюдений и в промежутках между ними. В те же сравнительно короткие перерывы, в течение которых измерялась температура воды, перемешивание не производилось.

Для определения коэффициента расширения платиноирдиевой полусаженки было сделано 28 полных наблюдений, результаты которых представлены таблицей IV.

Таблица IV.

Температура		Разность $\Pi(1/3-10^{1/3})$ — № 28 в микронах.	Отклонение температур метра № 28 от среднего: $18^{\circ},387$.	Поправка для приве- дения метра № 28 к тем- пературе $18^{\circ},387$ в микронах.	Разность $\Pi(1/3-10^{1/3})$ — № 28 приведенная к температуре $18^{\circ},387$ в микронах.
метра $\Pi(1/3-10^{1/3})$ dm	метра № 28.				
0°,092	18°,150	-154,08	-0,237	-2,06	-156,14
0,116	18,288	-156,35	-0,099	-0,86	-157,21
0,153	18,509	-158,19	+0,122	+1,06	-157,13
0,168	18,402	-157,08	+0,015	+0,13	-156,95
0,173	18,296	-159,20	-0,091	-0,79	-159,99
0,179	18,425	-156,46	+0,038	+0,33	-156,13
0,194	18,406	-157,66	+0,019	+0,17	-157,49
0,210	18,530	-158,03	+0,143	+1,24	-157,69
0,268	18,242	-155,14	-0,145	-1,26	-156,40
0,280	18,510	-157,74	+0,123	+1,07	-156,67
0,291	18,332	-156,32	-0,055	-0,48	-156,80
0,303	18,286	-156,16	-0,101	-0,88	-157,04
18,484	18,346	+1,61	-0,041	-0,36	+1,25
18,498	18,414	-0,82	+0,027	+0,23	-0,59
18,529	18,389	+0,07	+0,002	+0,02	+0,09
18,562	18,508	-2,94	+0,121	+1,05	-1,89
18,580	18,434	+3,19	+0,047	+0,41	+3,60
18,811	18,541	+7,49	+0,154	+1,34	+2,83
24,187	18,212	+51,42	-0,175	-1,52	+49,90
24,196	18,735	+47,08	+0,348	+3,02	+50,10
36,287	18,404	+155,06	+0,017	+0,15	+155,21
36,954	18,366	+158,79	-0,021	-0,18	+158,61
37,140	18,304	+164,68	-0,083	-0,72	+163,96
37,143	18,364	+164,09	-0,023	-0,20	+163,89
37,378	18,430	+164,23	+0,043	+0,37	+164,60
37,742	18,329	+169,35	-0,058	-0,50	+168,85
37,744	18,326	+169,41	-0,061	-0,53	+168,88
37,885	18,366	+169,62	-0,021	-0,18	+169,44
	$18^{\circ},387$				

Длина метра № 28, находившегося в задней ванне при температурах, близких к 18° , приведена к температуре, выражаемой средним арифметическим $18^{\circ},387$, причем коэффициент расширения этого метра при $18^{\circ},387$ принят, согласно формуле:

$$\frac{d\alpha}{dt} = \alpha_0 + \beta t,$$

равным:

$$\alpha_{18^{\circ},387} = 8,65 + 2 \cdot 0,001 \cdot 18,387$$

что дает:

$$\alpha_{18^{\circ},387} = 8,60$$

По этому значению коэффициента вычислены поправки, стоящие в предпоследнем столбце таблицы IV.

Обозначим метр П ($1/3 - 10^{1/3}$) dm через П, а метр № 28 — через М, прибавляя к ним указатели, соответствующие той температуре, при которой меры сличались между собой. На основании этого условия, например, последнее уравнение таблицы IV можно написать:

$$П_{27,885} - М_{18,387} = + 169,44 \text{ микрона.}$$

Если длину метра на полусаженки, отнесенную к нулю градусов, обозначим через $П_0$ и применим квадратичную формулу, то при любой температуре t длина этого метра выразится:

$$П_t = П_0 (1 + \alpha t + \beta t^2),$$

а предыдущее уравнение переищется:

$$П_0 + П_0 \alpha \cdot 37,885 + П_0 \beta \cdot (37,885)^2 - М_{18,387} = 169,44 \mu.$$

Вводя обозначения:

$$\begin{aligned} П_0 - М_{18,387} &= x \\ П_0 \alpha &= y \\ П_0 \beta &= z \end{aligned}$$

дадим системе из двенадцати восьми уравнений, полученных на основании таблицы IV, следующий вид:

		Δ
1.	$x + 0,092 y + 0,008464 z = -156,14$	-1,937
2.	$x + 0,116 y + 0,013456 z = -157,21$	-0,662
3.	$x + 0,153 y + 0,023409 z = -157,13$	-0,426
4.	$x + 0,166 y + 0,027556 z = -156,95$	-0,495
5.	$x + 0,173 y + 0,029929 z = -159,99$	+2,605
6.	$x + 0,179 y + 0,032041 z = -156,13$	-1,204
7.	$x + 0,194 y + 0,037636 z = -157,49$	+0,284
8.	$x + 0,210 y + 0,044100 z = -157,69$	+0,621
9.	$x + 0,268 y + 0,071824 z = -156,40$	-0,173
10.	$x + 0,280 y + 0,078400 z = -156,67$	+0,199
11.	$x + 0,291 y + 0,084681 z = -156,80$	+0,423
12.	$x + 0,303 y + 0,091809 z = -157,04$	+0,766
13.	$x + 18,484 y + 341,658256 z = + 1,25$	-1,115
14.	$x + 18,498 y + 342,176004 z = - 0,59$	+0,846
15.	$x + 18,529 y + 343,323841 z = + 0,09$	+0,435
16.	$x + 18,562 y + 344,547844 z = - 1,89$	+2,701
17.	$x + 18,580 y + 345,216400 z = + 3,60$	-2,633
18.	$x + 18,811 y + 353,853721 z = + 2,83$	+0,138
19.	$x + 24,187 y + 585,010969 z = + 49,90$	-0,244
20.	$x + 24,196 y + 585,446416 z = + 50,10$	-0,366
21.	$x + 36,287 y + 1316,746369 z = + 155,21$	+0,237
22.	$x + 36,954 y + 1365,598116 z = + 158,61$	-2,697
23.	$x + 37,140 y + 1379,379600 z = + 163,96$	-1,018
24.	$x + 37,143 y + 1379,602449 z = + 163,89$	-0,922
25.	$x + 37,378 y + 1397,114884 z = + 164,60$	-0,434
26.	$x + 37,742 y + 1424,458564 z = + 168,85$	-0,615
27.	$x + 37,744 y + 1424,609536 z = + 168,88$	-0,628
28.	$x + 37,885 y + 1425,273225 z = + 169,44$	+0,052

Таким образом задача сводится к решению системы из 28 уравнений с тремя неизвестными.

Вероятнейшие значения величин, обозначенных через x, y, z , находятся по способу наименьших квадратов из так называемых нормальных уравнений, число которых равно числу определяемых величин.

В нашем случае нормальные уравнения будут иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} 28 x + 460,545 y + 14364,560 z &= -466,910 \\ 460,545 x + 14364,560 y + 481634,3 z &= 51125,883 \\ 14364,560 x + 481634,300 y + 16874975,0 z &= 1887788,2 \end{aligned}$$

Числа, входящие в эти уравнения, имеют следующие значения:

$$\begin{aligned} 460,545 &= \Sigma T \\ 14364,560 &= \Sigma T^2 \\ 481634,3 &= \Sigma T^3 \\ 16874975,0 &= \Sigma T^4 \\ 466,910 &= \Sigma \mu \\ 51125,883 &= \Sigma \mu T \\ 1887788,2 &= \Sigma \mu T^2 \end{aligned}$$

Решение нормальных уравнений (по схеме Гаусса) дает:

$$\begin{aligned} x &= -158,8623 \\ y &= + 8,53970 \\ z &= + 0,0033636 \end{aligned}$$

Средняя ошибка отдельного наблюдения определена подстановкой значений x , y , z в основные уравнения и нахождением разностей величин вычисленных и наблюдаемых. Эти разности, обозначенные на таблице основных уравнений знаком Δ , дают для средней ошибки m , вычисленной по формуле:

$$m = \pm \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n-k}},$$

где n —число уравнений, а k —число неизвестных, значение:

$$m = \pm 1,28$$

Вероятная ошибка отдельного наблюдения есть:

$$v = \pm 0,67445 \times 1,28 = \pm 0,86$$

Вычисление вероятных ошибок неизвестных дает:

$$\begin{aligned} v_x &= \pm 0,253 \\ v_y &= \pm 0,0404 \\ v_z &= \pm 0,00106 \end{aligned}$$

Найденные значения неизвестных x , y , z позволяют вычислить длину метра Π ($10^1/3 - 10^1/3$) dm, отнесенную к нулю градусов, коэффициент его расширения α и изменение этого коэффициента с температурой (β).

Длина метра Π ($10^1/3 - 10^1/3$) dm оказывается по этим данным равной, в пределах ошибок наблюдения, той, которая получается из непосредственных измерений, произведенных при температуре одинаковой для обеих мер, т. е. когда полусажень и метр № 28 находятся одновременно в одной и той же ванне и на наименьшем расстоянии друг от друга.

Что касается величин α и β , то вычисленные для них значения дают основание принять для коэффициента расширения метра Π ($10^1/3 - 10^1/3$) dm в пределах от $0^\circ,1$ до $38^\circ,9$ величину:

$$\alpha = 10^{-6} (8540 + 3,40 T).$$

Окончательная обработка наблюдений, из которых определен этот коэффициент расширения, была произведена лаборантом О. К. Блумберг.

VII. Отношение аршина к метру и ярда к метру.

На основании данных, полученных калибровкой дециметровых подразделений платиноиридиевой полусаженной меры, можно найти отношение аршина к метру, т. е. выразить его длину в метрических единицах. Для этой цели необходимо измерить на полусаженной мере отрезок, заключающийся между двумя чертами, из которых одна обозначает 7 дециметров, а другая—28 дюймов. Если к отрезку

(0—7) дециметров прибавить отрезок, заключающийся между означенными чертами, то задача может считаться решенной. При этом надо иметь в виду условие, что метрическая шкала отнесена к нулю, а дюймовая—к $16\frac{2}{3}$ градусам.

Для измерения вышеуказанного отрезка, обозначенного в дальнейшем П (700 мм—28 дюймов) и приблизительно равного 11 миллиметрам, решено было использовать инварную меру № 40 (из 36% никелевой стали) длиной в 10 сантиметров, разделенную во всю длину на миллиметры и снабженную сертификатом, об изучении ее в Международном Бюро мер и весов. Обе меры, т. е. платиноиридиевая полусажень и инварный дециметр № 40, располагались в ящике компаратора так, чтобы одна мера составила продолжение другой и разделенные поверхности их были отчетливо видны через микроскопы. Последние были придвинуты один к другому на такое расстояние, что в то время, когда в левом микроскопе видна черта семисотого миллиметра на полусажени, в правом микроскопе видна черта девятого миллиметра на мере № 40. Если же передвинуть ящик компаратора в надлежащую сторону (влево) по длине на 11 миллиметров, то в поле зрения левого микроскопа появится на полусажени черта, соответствующая 28-му дюйму, а в правом микроскопе наблюдатель увидит двадцатый миллиметр на мере № 40.

Семнадцать измерений (наблюдения №№ 68—84), произведенные при температуре $17^{\circ},679$, представлены таблицей V.

Т а б л и ц а V.

№№ наблюдений.	Наблюдатель.	T_H Температура по водородному термометру.	ΔT_H Отклонение от среднего: $17^{\circ},679$.	Разность П (700 мм—28 дм.)—№ 40 в микронах.	Поправка для приведения к температур. $17^{\circ},679$ в микронах.	Разность П (700 мм—28 дм.)—№ 40 приведенная к температур. $17^{\circ},679$ в микронах.	Δ в микронах.	Δ^2
68	Аф. ¹⁾	17,598	—0,081	+104,61	—0,01	+104,60	+0,07	0,0049
69	А.	17,632	—0,047	+104,11	0,00	+104,11	—0,43	0,1849
70	А.	17,657	—0,022	+104,19	0,00	+104,19	—0,35	0,1225
71	А.	17,716	+0,037	+104,65	0,00	+104,65	+0,11	0,0121
72	А.	17,746	+0,067	+104,99	+0,01	+105,00	+0,44	0,1936
73	В.	17,260	—0,419	+104,37	—0,04	+104,33	—0,17	0,0289
74	А.	17,416	—0,263	+104,65	—0,02	+104,63	+0,11	0,0121
75	Аф.	17,518	—0,161	+104,63	—0,01	+104,62	+0,09	0,0081
76	Аф.	17,736	+0,057	+105,54	0,00	+105,54	+1,00	1,0000
77	В.	17,598	—0,081	+104,03	—0,01	+104,02	—0,50	0,2500
78	Аф.	17,632	—0,047	+104,83	0,00	+104,83	+0,29	0,0841
79	А.	17,706	+0,037	+104,48	0,00	+104,48	—0,06	0,0036
80	А.	17,731	+0,052	+104,61	0,00	+104,61	+0,07	0,0049
81	Аф.	17,746	+0,067	+104,60	+0,01	+104,61	+0,05	0,0025
82	В.	17,856	+0,177	+104,49	+0,02	+104,51	—0,05	0,0025
83	В.	17,955	+0,276	+103,74	+0,02	+103,76	—0,30	0,0900
84	В.	18,034	+0,355	+104,65	+0,03	+104,68	+0,11	0,0121
		17,679				+104,54		2,5568

$$m = \pm \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n-1}} = \pm 0,40$$

¹⁾ Аф.—обозначает сокращенную фамилию наблюдателя М. А. Афанасьева, А.—Н. И. Адамовича и В.—Ф. И. Блумбаха.

Из нее получается средний результат, который можно выразить следующим равенством:

$$\Pi (700 \text{ мм} - 28 \text{ дм.}) = \text{№ } 40 (0 - 20) \text{ мм} + 104,54 \mu.$$

Взяв из сертификата меры № 40 величину промежутка, заключающегося между 9-м и 20-м миллиметрами, найдем, что при 0° означенный промежуток равняется:

$$\text{№ } 40 (0 - 20) \text{ мм} = 11 \text{ мм} - 0,2 \mu.$$

Зная коэффициент расширения меры № 40, данный в сертификате, можем найти длину этого промежутка при температуре наблюдения, т. е. при 17°,679. Оказывается, что при этой температуре он короче 11 мм только на 0,01 микрона. Принимая это во внимание, найдем, что измеренный на полусажени отрезок $\Pi (700 \text{ мм} - 28 \text{ дм.})$ при 17°,679 равняется:

$$\Pi (700 \text{ мм} - 28 \text{ дм.}) = 11 \text{ мм} + 104,53 \mu = 11,10453 \text{ мм.}$$

Если же отнести его к нормальной температуре, т. е. к 16 $\frac{2}{3}$ °, то получим:

$$\Pi (700 \text{ мм} - 28 \text{ дм.}) = 11,10444 \text{ мм.}$$

Пользуясь величиной, вычисленной А. Н. Георгиевским для отрезка 0—7) дециметров, при 0°:

$$\Pi (0 - 7) \text{ дм} = 700 \text{ мм} - 11,07 \mu,$$

найдем, что при 16 $\frac{2}{3}$ ° он равняется:

$$\Pi (0 - 7) \text{ дм} = 700 \text{ мм} + 90,05 \mu.$$

Получив таким образом отрезок $\Pi(0 - 7) \text{ дм}$ при 16 $\frac{2}{3}$ ° и отрезок $\Pi (700 \text{ мм} - 28 \text{ дм})$ при той же температуре, найдем, что оба они в совокупности дадут расстояние, считаемое от общего нуля масштаба до черты, соответствующей 28-му дюйму, т. е. длину отрезка $\Pi [0 - 28] \text{ дюймов}$, равную:

$$\Pi [0 - 28] \text{ дм.} = 711 \text{ мм} + 194,49 \mu.$$

С другой стороны, длина того же отрезка, на основании калибровки дюймовых подразделений полусажени, выражается следующим образом:

$$\Pi [0 - 28] \text{ дм.} = 28 \text{ дюймов} - 5,23 \mu. \quad (7)$$

Приравнивая правые части этих равенств друг другу, получаем:

$$28 \text{ дюймов} - 5,23 \mu = 711 \text{ мм} + 194,49 \mu,$$

откуда:

$$28 \text{ дюймов} = 711 \text{ мм} + 194,49 \mu + 5,23 \mu,$$

или, окончательно:

$$28 \text{ дюймов} = 711,19972 \text{ мм.}$$

и с округлением:

$$28 \text{ дюймов} = 711,200 \text{ миллиметра.}$$

Таким образом соотношение: 1 аршин = $\frac{1 \text{ арш}}{36}$ 28 пли;

$$1 \text{ аршин} = \frac{0,914400}{36} 28 \text{ метра}$$

было установлено непосредственным измерением.

На этом основании один аршин, согласованный с двадцатью семью английскими дюймами, принят равным семистам одиннадцати тысячам двумстам миллионным частям международного метра.

Способом, подобным вышеописанному, было найдено также и отношение ярда к метру.

При помощи той же инварной меры № 40 был измерен на платинопридковой полусажени отрезок, заключающийся между двумя чертами, из которых первая

соответствовала 36-му дюйму, а вторая — одному метру. Означенный отрезок равен приблизительно 85,8 мм. Для точного измерения этого отрезка меры были расположены одна на продолжении другой и микроскопы установлены так, что в то время, когда в левом микроскопе виден на полусажении 36-й дюйм, в правом микроскопе виден на инварином дециметре четвертый миллиметр. После отчетов по микрометрам лцик компаратора передвигался по длине на 86 мм и в левом микроскопе наблюдалась на полусажении черта десятого дециметра (1 метра), а в правом на мере № 40 — черта девяностого миллиметра. Из четырнадцати измерений, (наблюдения №№ 54—67) произведенных при средней температуре 17°,210 и указанных в таблице VI, выяснилось, что отрезок:

$$\Pi (36 \text{ дм.} - 10 \text{ дм.}) = 86 \text{ мм} - 257,62\mu.$$

Таблица VI.

№ наблюд. децим.	Наблю- датель.	T_H Температура по водородному термометру.	ΔT_H Отклоне- ние от среднего 17°,210.	Разность $\Pi (36 \text{ дм.} -$ $10 \text{ дм.}) -$ № 40 в ми- кронах.	Поправка для при- ведения к 17°,210 в микрон.	Разность $\Pi (36 \text{ дм.} -$ $10 \text{ дм.}) - \text{№ 40}$ приведенная к температуре 17°,210 в ми- кронах.	Δ в ми- кронах.	Δ^2
54	А.	17,012	-0,198	-253,33	-0,13	-253,46	+0,80	0,6400
55	АФ.	17,156	-0,054	-252,49	-0,04	-252,53	-0,05	0,0025
56	А.	17,012	-0,198	-252,23	-0,13	-252,36	-0,31	0,0961
57	АФ.	17,300	+0,090	-253,26	+0,06	-253,20	+0,72	0,5184
58	А.	17,384	+0,174	-253,22	+0,12	-253,10	+0,67	0,4489
59	В.	17,433	+0,223	-253,33	+0,15	-253,18	+0,79	0,6241
60	В.	17,503	+0,293	-252,52	+0,19	-252,33	-0,02	0,0004
61	В.	17,012	-0,198	-253,22	-0,13	-253,35	+0,67	0,4489
62	В.	17,052	-0,158	-252,53	-0,10	-252,63	-0,01	0,0001
63	В.	17,235	+0,025	-251,42	+0,02	-251,40	-1,12	1,2544
64	АФ.	17,384	+0,174	-251,19	+0,12	-251,07	-1,35	1,8225
65	В.	17,418	+0,208	-251,52	+0,14	-251,38	-1,02	1,0404
66	В.	16,943	-0,267	-252,98	-0,18	-253,16	+0,44	0,1936
67	АФ.	17,092	-0,118	-252,29	-0,08	-252,37	-0,26	0,0676
		17,210				-252,54		7,1579

$$m = \pm \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n-1}} = \pm 0,74.$$

Что касается длины первых десяти дециметров на полусаженной мере, то она известна из сличений ее с копией международного метра № 28 и при 16°,5 она больше одного метра на 134,35 микрона. Если из длины этого отрезка вычесть длину измеренного при той же температуре отрезка $\Pi (36 \text{ дюймов} - 10 \text{ дм.})$, то получим длину ярда, выраженную в миллиметрах:

$$\begin{aligned} \Pi (0 - 10) \text{ дм} - \Pi (36 \text{ дм.} - 10 \text{ дм.}) &= 1000,13435 \text{ мм} - (86 \text{ мм} - 257,62\mu), \\ \Pi (0 - 10) \text{ дм} - \Pi (36 \text{ дм.} - 10 \text{ дм.}) &= 914,39197 \text{ мм} \end{aligned}$$

Остается выяснить то расстояние, на котором приходится черта 36-го дюйма от общего нуля масштаба.

Из непосредственного сличения ярдов [0—36] дм. и [3—39] дм. между собой, произведенного в 1910 году, найдено:

$$\Pi [0 - 36] \text{ дюймов} = \Pi [3 - 39] \text{ дюймов} + 1,15\mu.$$

А так как симметричный ярд $\Pi [3 - 39]$ дюймов, как мы видели, короче прототипа английского ярда № 1 на 9,10 микрона, то:

$$\Pi [0 - 36] \text{ дюймов} = 1 \text{ ярд} - 9,10\mu + 1,15\mu$$

или:

$$\Pi [0-36] \text{ дюймов} = 1 \text{ ярду} - 7,95\mu$$

откуда:

$$1 \text{ ярд} = 914,39197 \text{ мм} + 0,00795 \text{ мм} = 914,39992 \text{ мм}$$

или:

$$1 \text{ ярд} = 0,91439992 \text{ метра}$$

По определению же Международного Бюро мер и весов, произведенному в 1895 г. и опубликованному в XII томе „Travaux et Mémoires du Bureau International des poids et mesures“ (стр. 24).

$$1 \text{ ярд} = 0,9143992 \text{ метра}$$

Это отношение и было принято английским законом в 1897 г. Таким образом длина ярда, найденная в Главной Палате мер и весов, отличается от длины, данной Международным Бюро мер и весов, только на 0,7 микрона. Хотя эта разность представляется величиной меньшею, чем те личные ошибки, которые могут иметь место у различных наблюдателей вследствие значительной толщины линий, (около 20 микронов), определяющих длину основного английского ярда № 1 (Imperial Standard Yard), однако отношение ярда к метру, найденное Главной Палатой, должно быть признано более вероятным, так как способ, примененный Международным Бюро для установления этого отношения, был более сложным и допускал накопление ошибок измерения промежуточной меры.

Вопрос об установлении точного соотношения между ярдом и метром возник вскоре после восстановления в 1855 английских прототипов, сгоревших во время пожара здания парламента, происшедшего в 1837 г. Так как ярд № 1 по закону 1855 года не может быть вывезен из пределов Лондона, то для определения соотношения между ярдом и метром был изготовлен (из металла Baily) в 1878 г. ярд, обозначаемый знаком P.C.VI (Parliamentary Copy VI). Последний неоднократно сличался с основным ярдом № 1, причем оказалось, что длина его не остается постоянною, но меняется в определенном направлении, именно:

в 1886 г.	P. C. VI = № 1 — 0,09 μ
в 1892 г.	P. C. VI = № 1 — 2,96 μ
в 1894 г.	P. C. VI = № 1 — 3,62 μ

Последняя серия измерений была произведена Ченеем, Блумбахом, Риклем и Стансфильдом с точностью до $\pm 0,1$ микрона.

Для контроля был использован еще ярд № 12, изготовленный несколько раньше (около 1855 г.) и сличенный как с № 1, так и с P.C.VI теми же четырьмя наблюдателями в Лондоне. Оба ярда P.C.VI и № 12 были перевезены в Международное Бюро мер и весов, где была выполнена его директором Р. Бенуа работа, на основании которой в 1897 г. Англией было узаконено, что один ярд равняется 0,9143992 метра.

Не безинтересно отметить, что в 1885 г. Международное Бюро, исследуя четырехметровую меру Испанского Геодезического Института, нашло, что ярд при $16\frac{2}{3}^\circ$ равняется 0,914400 метра, т. е. получило значение, тождественное с значением Главной Палаты мер и весов¹⁾. В силу вышесказанного последнее отношение ярда к метру принято русским законом. Это выразилось тем, что один дюйм принят равным 25,4000 миллиметра.

Измерения, относящиеся к определению отношения аршина к метру и ярда к метру, были произведены в 1910 году Ф. И. Блумбахом, Н. И. Адамовичем, М. А. Афанасьевым, а окончательная их обработка для настоящей статьи — А. Н. Адамовичем в 1923 г.

¹⁾ An act for legalizing and preserving the restored Standards of Weights and Measures July 30-th 1855. Travaux et Mémoires, T. XII, p. 25.

З а к л ю ч е н и е.

Из вышеизложенного на предыдущих страницах следует, что платиноиридиевая полусажень имеет большое метрологическое значение. Роль ее в деле возобновления русского прототипа длины заключалась в том, что длина одного аршина, определяемого чертами 7-го и 35-го дюймов, была перенесена на платиноиридиевые стержни № 39, № 40 и № 42. Последние после тщательного сличения их в 1898 г. с аршином П [7—35] дюймов (наблюдения №№ 794—841) и определения коэффициентов расширения (наблюдения №№ 752—793) получили особые обозначения, выгравированные на первой наружной плоскости каждого из них.

Так как длина стержня № 40 оказалась при 17° в точности равной 28 дюймам, то этот аршин был признан русским прототипом длины, а остальные два аршина — его копиями.

Роль платиноиридиевой полусажни в работах лаборатории мер длины этим не исчерпывается. С нею связаны определенными и хорошо установленными соотношениями все главные меры длины, принадлежащие не только Главной Палате мер и весов, но и разнообразным другим учреждениям. К таким мерам длины принадлежат следующие:

1. Особая основная копия нарезного аршина со знаками Московской губернии. Коэффициент расширения этой меры был определен в 1901 г. Н. И. Адамовичем (наблюдения №№ 938—955), а сличение ее с аршином П [7—35] дюймов было произведено в том же году Ф. И. Блумбахом и Н. И. Адамовичем (наблюдения №№ 955—967).

2. Копия ярда № 51 (из красной меди), принадлежащая к серии ярдов, изготовленных в половине прошлого столетия в Англии, и сличенная с основным английским ярдом № 1. При помощи платиноиридиевой полусажни был определен коэффициент расширения как ярда № 51, так и другого ярда (из металла Baily), изготовленного в 1894 г. и обозначаемого в Главной Палате знаком N. Y. (New Yard).

3. Бронзовый аршин № 267, описанный в „Первом перечне образцовых мер длины“ под № 8 („Временник“ часть 1-я, стр. 97).

4. Бронзовый метр № 268, описанный в „Первом перечне“ под № 9 и имеющий систему штрихов, подобную той, которая нанесена на нейтральной плоскости платиноиридиевой полусажни.

5. Инварный метр П—образного сечения № 318, систематически изучаемый в течение 15 лет в целях выяснения изменчивости длины стержней, изготовленных из ферроникеля.

6. Все вспомогательные меры, применяемые при делительной и мерительной машинах Главной Палаты мер и весов.

7. Три железные основные меры длиной в 42 дюйма каждая, принадлежащие бывшему Главному Управлению Земледелия и Землеустройства.

8. Две медные меры длиной в 42 дюйма и одна метровая мера из инвара, принадлежащие компасной части бывшего Гидрографического Управления Морского Штаба.

9. Мельхиоровая полусаженная мера № 17 работы Женевского общества, принадлежащая бывшему Министерству Путей Сообщения.

10. Разнообразные меры, принадлежащие бывшему Военно-Топографическому Отделу Генерального Штаба.

Сказанного достаточно, чтобы судить о ценности платиноиридиевой полусажни, она имеет огромное значение не только для русской, но и для международной метрологии.

В заключение приведем сводку основных результатов исследования платино-приднейвой полусажени.

Метр П ($1/3 - 10^{1/3}$)	дециметров	= 1 м	- 4,7	микрона.
Метр П (0—10)	"	= 1 "	- 10,2	"
Метр П ($2/3 - 10^{2/3}$)	"	= 1 "	- 25,1	"
П (0—1)	"	= 1 dm	- 3,1	"
П (0—2)	"	= 2 "	- 3,6	"
П (0—3)	"	= 3 "	- 8,1	"
П (0—4)	"	= 4 "	- 4,6	"
П (0—5)	"	= 5 "	- 7,7	"
П (0—6)	"	= 6 "	- 5,4	"
П (0—7)	"	= 7 "	- 11,1	"
П (0—8)	"	= 8 "	- 5,2	"
П (0—9)	"	= 9 "	- 11,3	"
П (0—10)	"	= 10 "	- 10,2	"
Ярд П [3—39]	дюймов	= 1 ярд	- 9,1	"
Ярд П [0—36]	"	= 1 "	- 8,4	" (1896 г.)
Ярд П [0—36]	"	= 1 "	- 8,0	" (1911 г.)
Ярд П [6—42]	"	= 1 "	- 8,2	"
Аршин П [0—28]	"	= 28 дм.	- 5,2	"
Аршин П [7—35]	"	= 28 "	- 6,6	"
Полусажень П [0—42]	"	= 42 "	- 8,1	"
1 аршин = 0,711200 метра.				
1 ярд = 0,914400 "				

УСТАНОВЛЕНИЕ и ХРАНЕНИЕ ТОЧНОГО ВРЕМЕНИ.

Н. Х. Прейшич.

Глава I. Эталонная лаборатория времени и ее оборудование.

§ 1. Задачи лаборатории. Основная задача эталонной лаборатории времени заключается в обеспечении Главной Палаты мер и весов третьей из трех основных физических единиц — единицей времени.

Этим разрешается вопрос об испытании и поверке приборов, непосредственно измеряющих время (хронометров, секундомеров, хроноскопов и т. п.), а также приборов, измеряющих физические величины, находящиеся в той или иной зависимости от единицы времени (тахометры, электрические счетчики и т. п.).

Так как для получения единицы времени требуется знание абсолютного времени в две отделенные некоторым интервалом эпохи, а абсолютное время может быть независимо определено лишь из астрономических наблюдений, то главная работа лаборатории заключается в астрономических наблюдениях, по возможности регулярных, и в изучении с метрологической точки зрения часов, как приборов, сохраняющих время.

В настоящий момент, когда огромные успехи радиотехники блестяще разрешили вопрос о сравнении с большой точностью абсолютных времен, определенных на различных обсерваториях, задачи лаборатории еще более расширились и приобрели крупный практический интерес. Радиосигналы времени, даваемые на территории СССР Главной Астрономической Обсерваторией в Пулкове, служат для определения долгот пунктов и других геодезических работ. Регулярный прием этих сигналов в Главной Палате дает возможность определять поправки принятых сигналов на основании результатов наблюдений лаборатории и тем самым увеличить точность опорного пункта для названных работ.

С другой стороны, прием ритмических радиосигналов с башни Эйфеля вовлекает Главную Палату в работу Международного Бюро времени, поставившего целью решение целого ряда вопросов, связанных с точным определением поправок часов и могущих быть выясненными лишь при тесном сотрудничестве многих обсерваторий.

§ 2. Нормальные часы лаборатории. В настоящее время лаборатория располагает следующими нормальными часами:

1. Звездные часы Riefler'a № 67. Спуск Riefler'a; его же инварный маятник № 182 с цилиндрической гирей, толщина стержня 14 мм; колесный секундный прерыватель; электрический завод; микроскоп для отчета амплитуды. Приобретены в 1903 году. При часах три термометра Мюллера с делениями в $0,1^{\circ}\text{C}$ и сифонный ртутный манометр. Часы идут при постоянной плотности воздуха. Условное обозначение: R_{67}^* .

2. Средние часы Riefler'a № 68. Такой же конструкции и с такими же приспособлениями, как и первые. Маятник № 186. Приобретены в 1903 году. Идут временно при переменной плотности окружающего воздуха. Условное обозначение: R_{68}^{\odot} .

3. Звездные часы Rieffler'a № 81. Такой же конструкции и с такими же приспособлениями, как и первые. Маятник № 191. Приобретены в 1905 году. Идут временно при переменной плотности воздуха. Условное обозначение: R_{81}^* .

4. Средние часы Rieffler'a № 86. Такой же конструкции и с такими же приспособлениями, как и первые. Маятник № 704. Идут при постоянной плотности воздуха. Условное обозначение: R_{86}^{\odot} . Эти часы установлены в лаборатории времени только в 1923 году. До этого времени они находились во Дворце Искусств (б. Зимнем Дворце) на парадной лестнице.

Для завода каждого часа применяется своя отдельная батарея из 2-х аккумуляторов Тюдора типа «Аккомет», подвергающихся регулярной ежемесячной зарядке; продолжительность завода часов регулируется в пределах от 20 до 32 секунд.

§ 3. Установка нормальных часов. Нормальные часы установлены в восточной центральной части подвального этажа главного здания. Эта часть с трех сторон окружена коридором, а с четвертой западной стороны отделена от остальной части центрального подвала калорифером водяного отопления. С северной и южной стороны в подвальном этаже расположены лабораторные помещения. Благодаря такой, почти всюду двойной, воздушной прослойке, температура центрального подвала свободна от суточного периода, но близость калорифера несколько усиливает амплитуду годовых колебаний температуры подвала. Эта температура меняется весьма равномерно и ее максимальные суточные колебания не превышают $0,1^{\circ}\text{C}$. Рис. 1 изображает план часовых подвалов.

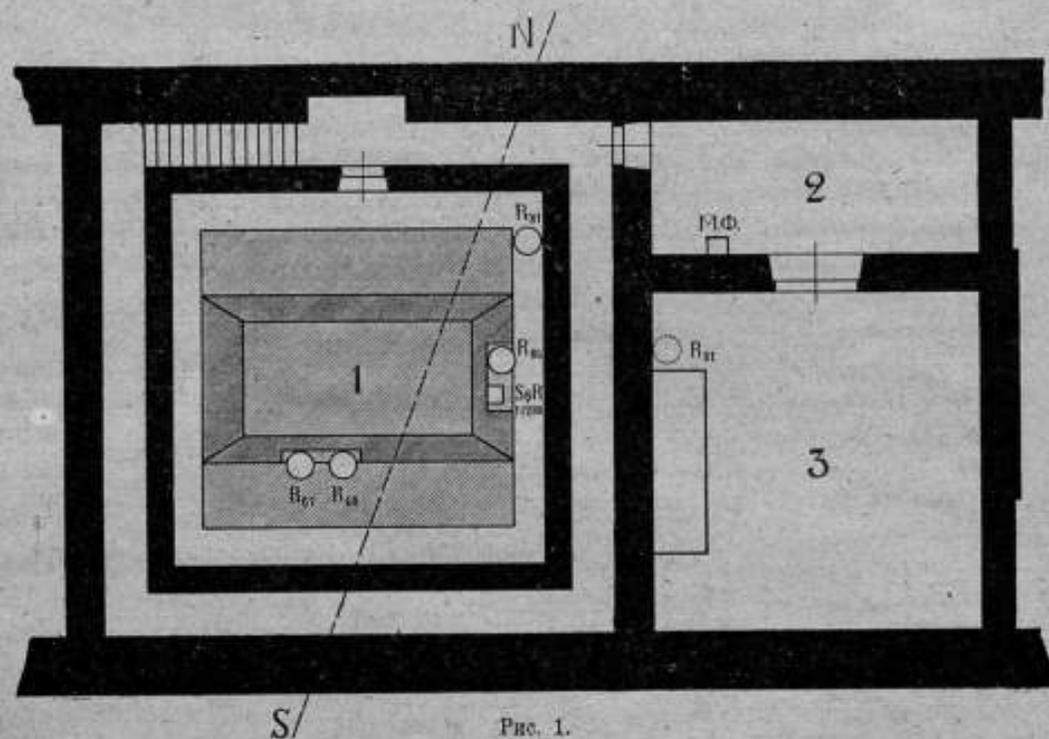


Рис. 1.

Главный подвал отмечен цифрой 1. Центр его занимает большой сложенный из кирпича устой, начинающийся на дне кирпичной коробки на глубине 2,32 м под полом подвального этажа. Этот устой имеет две площадки шириною около 1 метра на уровне пола подвала, начиная от которых он поднимается в виде усеченной пирамиды до уровня пола 1-го этажа, где на нем установлен компаратор.

На южной стороне устоя расположены часы R_{81}^* и R_{86}^{\odot} (рис. 2). Плоскость качания их маятников лежит в азимуте 70° .

¹⁾ Азимуты отчитываются от точки юга меридиана через запад до направления, параллельного циферблату часов.

На восточной стороне устоя под азимутами в 340° установлены часы R_{86}^{\odot} . Часы R_{81}^* временно установлены под азимутом в 160° на северо-восточной стене подвала, т. е. в несколько худших условиях в смысле устойчивости. Приготовленное для них постоянное место установки в подвале 2 показано пунктиром.

Как уже было сказано, изменения температуры подвалов совершаются весьма равномерно. На рис. 3 стр. 44 сплошной линией представлена кривая годового хода температуры для подвала 1; из рисунка видно, что ее колебания не выходят из пределов 3° , обыкновенно от $14,5^\circ$ до $17,5^\circ$ С, причем за год отмечаются: первый максимум в течение января—марта, отвечающий разгару отопительного сезона; первый минимум в течение мая—июня, соответствующий весеннему охлаждению здания по прекращении топки; второй, меньший, максимум — в августе, вызываемый летним нагреванием здания и, наконец, второй минимум — осенний, в октябре—ноябре, переходящий с началом отопительного сезона в зимний максимум.

Кривая годового хода температуры подвала 2 представлена на рис. 3 пунктирной линией, она, по характеру изменений и по амплитуде, совершенно подобна кривой температуры подвала 1, отличаясь лишь тем, что эти изменения происходят обыкновенно в пределах $3,5^\circ$ от $12,0^\circ$ до $15,5^\circ$.

§ 4. Вспомогательные часы лаборатории. Кроме нормальных часов, в распоряжении лаборатории имеются еще следующие часы:

1. Средние часы работы Neher & S. Спуск Riefler'a; его же инварный маятник № 149 с чечевицеобразной гирей, толщина стержня 14 мм; гиревой недельный завод; механизм для минутного контакта также с недельным заводом, два секундных колесных прерывателя Riefler'a. Идут при переменной плотности воздуха. Условное обозначение: МФ \odot . Часы приобретены в 1905 году и установлены в подвале 2 на южной стене под азимутом в 250° .

2. Средние часы Hohwü № 31. Грахамовский спуск; маятник с ртутной компенсацией; гиревой недельный завод; секундный прерыватель «Нептун». Идут при переменной плотности воздуха. Условное обозначение: Н \odot . Установлены в центральной комнате № 8 первого этажа.

3. Средние часы работы Neher & S, регулирующие механизм башенных часов. Спуск Riefler'a; его же инварный маятник № 352 с чечевицеобразной гирей, толщина стержня 14 мм; минутный гиревой завод от механизма башенных часов; секундный колесный прерыватель Riefler'a; минутный контакт, питающий от аккумуляторной батареи сеть из 12 вторичных часов — циферблатов, расположенных в различных зданиях Главной Палаты, и электри-

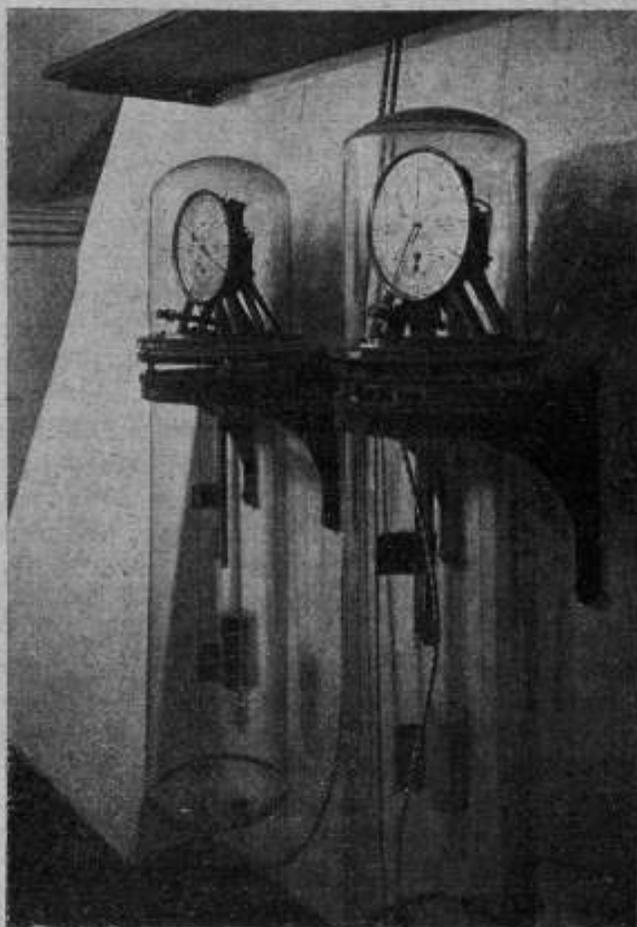


Рис. 2.

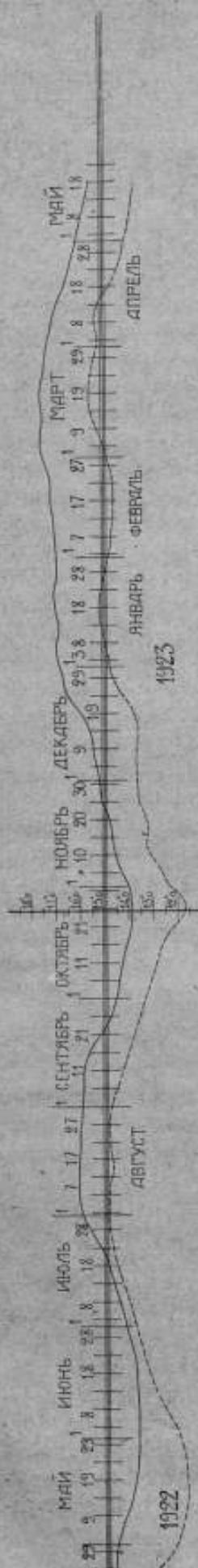


Рис. 3.

ческие часы общественного пользования установленные под Аркой Красной Армии. Идут при переменной плотности воздуха. Условное обозначение: БС. Часы приобретены в 1905 году и установлены в шестом этаже башни второго здания Главной Палаты.

4. Звездные часы Strasser'a & Rohde № 280. Спуск Strasser'a; его же инварный маятник; гиревой недельный завод; идут при переменной плотности воздуха. Условное обозначение: SR*. Приобретены в 1904 году и установлены в подвале 1 рядом с нормальными часами R₃₀^С под азимутом в 340°.

5. Звездные часы Riefler'a № 107. Грахамовский спуск; инварный маятник Riefler'a № 390 с чечевицеобразной гирей, толщина стержня 8 мм; его же колесный прерыватель; гиревой недельный завод. Условное обозначение: R₁₀₇*. Часы приобретены в 1903 году и установлены в обсерватории Главной Палаты вблизи пассажного инструмента.

§ 5. Астрономическая обсерватория. Обсерватория расположена на башне выстроенного в 1902 г. второго здания Главной Палаты и занимает две небольшие комнаты. В одной установлен в меридиане переносный пассажный инструмент Vamberg'a с ломаной трубой, снабженный саморегистрирующим микрометром и предназначенный для определений времени, в другой—небольшой рефрактор Кука с объективом в 108 мм. Столбы под пассажный инструмент и рефрактор выведены над сводами нижележащих комнат башни по указаниям Ф. И. Блумбаха. Пол наблюдательных комнат настлан значительно выше сводов на укрепленных в стенах башни балках и непосредственно не соприкасается со столбами. Несмотря на довольно значительную высоту, на которую подняты инструменты (около 30 м над поверхностью земли), их установка достаточно надежна.

Правда, при более значительных промежутках времени изменения инструментальных ошибок заметны, но в течение 2—3 часов астрономических наблюдений азимут и наклонность пассажного инструмента держатся с таким же постоянством, как и в общепринятых условиях установки.

Координаты обсерватории:

$$\lambda = 2^{\text{h}} 01^{\text{m}} 15^{\text{s}}.955 \text{ к востоку от Гринича}$$

$$\varphi = 59^{\circ} 55' 5''$$

Долгота определена на основании результатов приема, с 1 июля 1923 г. по 1 января 1924 г., ритмических сигналов времени радиостанции Москва, подаваемых Главной Астрономической Обсерваторией в Пулковке, и относится к центру столба пассажного инструмента. Широта определена из наблюдений 25—27 мая 1919 года зенитных расстояний α Ursae minoris на универсальном секундном инструменте Troughton'a & Simms'a.

Инструментальные данные пассажного инструмента следующие:

Отверстие объектива	89 мм
Фокусное расстояние объектива	900 мм

Увеличение	120 раз
Цена одного оборота винта саморегистрирующего микрометра	7 ^м 59
Цена деления уровня горизонтальной оси (подвешенного, в камере)	0 ^м 0694

Сигналы саморегистрирующего микрометра записываются на находящемся в главном здании хронографе Нирра, служащем для ежедневных сличений часов. Пуск хронографа в ход и наблюдение за его правильным действием производится ассистентом астронома-наблюдателя. Для того, чтобы астроном-наблюдатель был уверен, что сигналы от пассажного инструмента действительно достигают хронографа, параллельно цепи, идущей к хронографу, присоединен, через конденсатор *C*, вспомогательный телефон *T* (вернее, телефонная трубка), находящийся вблизи наблюдателя (рис. 4). *I—I'* означают концы цепи, идущие к микрометру пассажного инструмента, *II—II'* — концы, идущие к хронографу. Каждый сигнал, достигающий хронографа, отмечается отчетливым пощелкиванием телефона. Это приспособление при наблюдениях близполюсных звезд дает глазу наблюдателя кратковременный отдых в промежутках между отдельными сигналами микрометра (от 6^м до 20^м).

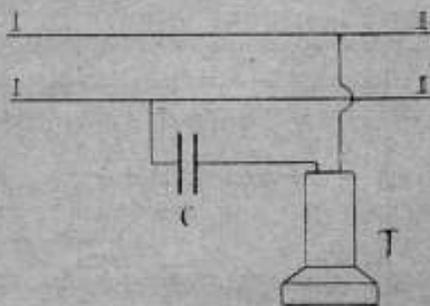


Рис. 4

§ 6. Распределительная доска. Ежедневные сличения часов производятся исключительно электромагнитным путем на большом пишущем чернилами хронографе Нирра с длиной секунды около 34 мм и с тремя перьями, из которых в постоянном употреблении находятся только два. При этом пользуются распределительной доской, построенной таким образом, что она дает возможность:

1. Включить любые часы на любое из 2-х применяемых перьев хронографа.
2. Работать на каждом пере или непосредственно от часов, или через любое из 2-х реле.
3. Измерять силу тока в любой цепи.
4. Изменять напряжение батарей, работающих на хронограф.
5. Ввести прерыватель любых часов в цепь приборов других лабораторий непосредственно или через реле.

При этом схема выполнена так, что она совершенно не допускает параллельных соединений часов и катушек хронографа при работе на различных часах.

Схема распределительной доски представлена на рис. 5, стр. 46. Каждая пара проводов от прерывателя любых часов и от цепи приборов других лабораторий присоединена к наружным клеммам большого двухполюсного переключателя *I*, рассчитанного на 15 линий. Внутренние клеммы этого переключателя соединены через штепсельную розетку *1* с внутренними клеммами второго двухполюсного переключателя *II*, рассчитанного на 4 линии. Одна пара внешних зажимов *BK* переключателя *II* соединена с внутренними зажимами двухполюсного переключателя *III* на 5 линий (верхний ключ), вторая пара *HK* переключателя *II* соединена соответственно с внутренними зажимами такого же переключателя *VI* (нижний ключ). Третья пара зажимов *R₁* переключателя *II* соединяется, во-первых, с первичной цепью *3* первого реле, во-вторых, с парой внешних клемм *R₁* двухполюсного переключателя *V* на 3 линии. Точно также четвертая пара зажимов *R₂* того же переключателя *II* соединена с первичной цепью *5* второго реле и с парой клемм *R₂* переключателя *V*. Первичные цепи обоих реле питаются своими особыми батареями. Вторичная цепь *6* второго реле присоединена через штепсельную розетку *2* к внутренним зажимам верхнего ключа *III*, а вторичная цепь *4* первого реле, соответственно, через штепсельную розетку *3* с внутренними зажимами нижнего ключа *VI*.

К тем же зажимам ключа *VI* присоединена третья пара внешних клемм *HK* переключателя *V*.

Прерыватели нормальных часов R_{67}^* , R_{88}^{\odot} и R_{91}^* и часов H_{31}^{\odot} , кроме переключателя *I*, соединены также с двухполюсным переключателем *VI* на 5 линий, внутренние зажимы которого соединены через штепсельную розетку 4 с внутренними зажимами переключателя *V*. Пятая пара зажимов переключателя *IV* остается свободной и служит для включения в общую схему любого прибора, подлежащего исследованию. Внешние пары клемм C_1 верхнего *III* и нижнего *VI* ключей включены параллельно в цепь, состоящую из аккумуляторной батареи, служащей для приведения в действие хронографа, и из катушки одного пера хро-

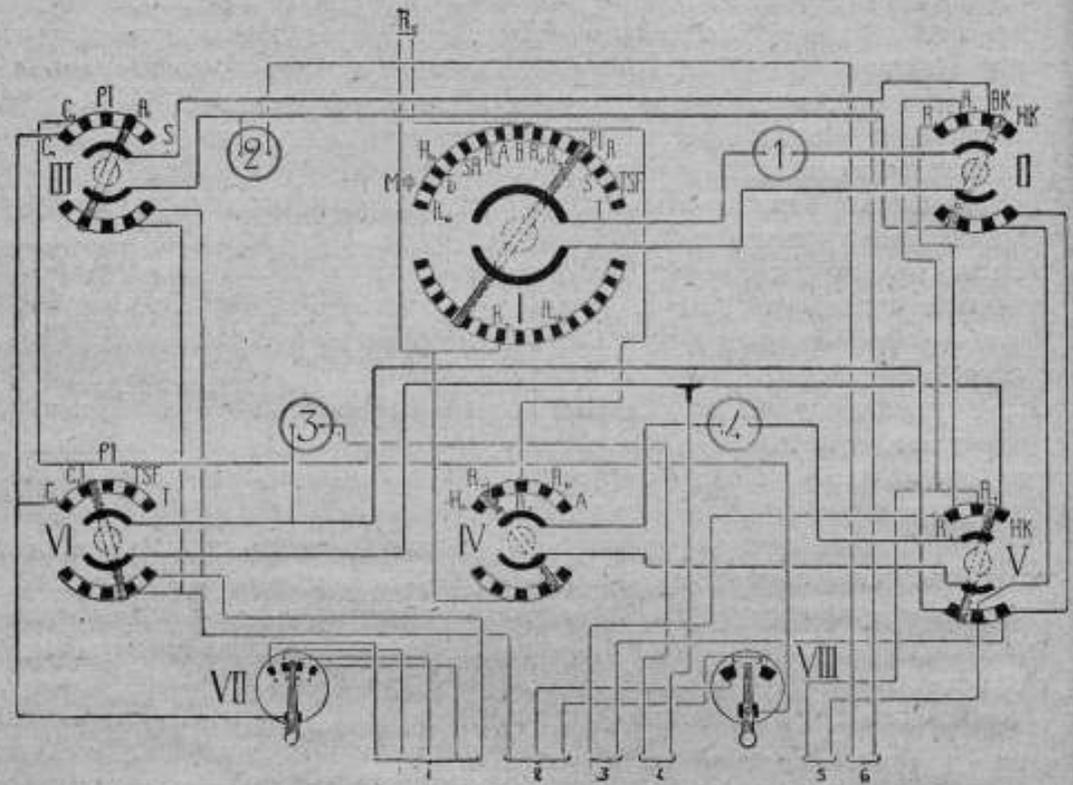


Рис. 5.

нографа. Подобным же образом пары клемм C_2 включены в цепь катушки второго пера. При помощи элементного переключателя *VII* в цепи первой катушки 1 можно менять напряжение батарей в пределах от 6 до 12 вольт, а при помощи элементного переключателя *VIII* можно делать изменение напряжения батарей второй катушки 2 в пределах от 6 до 8 вольт. Остальные пары зажимов обоих ключей *III* и *VI* соединены с проводами, ведущими в различные места Главной Палаты, где к этим проводам могут быть присоединены свои особые хронографы.

Штепсельные розетки в обычных условиях работы остаются замкнутыми на короткое при помощи вилки. Заменяя эти коротко-замкнутые вилки цепью амперметра, можно измерить силу тока в любой из цепей, в которую эти розетки входят: либо в цепи прерывателей, либо в первичной цепи реле, либо во вторичной их цепи.

Таким образом описанная схема позволяет включить любые часы или в цепь приборов непосредственно, или через любое реле на любое из перьев хронографа *Hirra*, находящегося в лаборатории, или на хронографы, расположенные в других местах Главной Палаты. Например, чтобы включить часы SR^{\odot} на второе перо, а часы R_{91}^* на первое при напряжении батарей в 6 вольт, надо переключатели *I*, *II*, *III* и *VIII* установить в положения *SR*, *BK*, C_2 и 3 (цепь часов SR^{\odot}), а переключатели *IV*, *V*, *VI* и *VII* — в положения R_{67}^* , *HK*, C_1 и 3 (цепь часов R_{91}^*).

Глава II. Метод определения поправок часов.

§ 7. Основные положения. Астрономическая практика установила следующие основы измерения времени:

Звездное время определяется в любой момент часовым углом точки весеннего равноденствия¹⁾; среднее солнечное время — часовым углом некоторой фиктивной точки — второго среднего солнца; прямое восхождение этой точки изменяется равномерно, и она движется по видимой орбите солнца так, что сумма ее отставаний за год относительно центра истинного солнца равна нулю.

Часы — прибор, предназначенный для измерения времени, — осуществляют некоторое повторяющееся явление, период которого находится в простом отношении к периоду видимого суточного перемещения этих точек и, следовательно, при безошибочности часов они должны в любой момент измерять один из названных часовых углов.

Полное совпадение показаний часов с тем временем, для измерения которого они предназначены, мыслимо лишь, как случайное явление; вообще же говоря, их показание будет ошибочно на некоторую величину.

Если в момент времени t показание часов есть p , то:

$$u = t - p \dots \dots \dots (1)$$

где u — величина, которую надо прибавить к показанию часов, чтобы получить верный момент; она называется *поправкой часов*.

Поправка часов не есть величина постоянная, она меняется со временем; если в моменты t_1 и t_2 поправки были соответственно u_1 и u_2 , то:

$$g = \frac{u_2 - u_1}{t_2 - t_1} \dots \dots \dots (2)$$

Величина g , первая производная по времени поправки часов, называется *ходом часов*. За единицу времени берут обыкновенно одни сутки, в этом случае величина g будет средним суточным ходом²⁾.

Зная поправку часов в некоторый момент и соответствующий суточный ход, мы можем вычислить поправку и для любого показания часов и, прибавив ее, получить верное время. Для независимого определения поправки часов мы должны, как это было уже указано, определить часовой угол одной из названных фиктивных точек и отметить соответствующее этому моменту показание часов. Так как эти точки на небесной сфере ничем не обозначены, то непосредственное измерение часовых углов невозможно, и приходится идти следующим окольным путем.

Основное уравнение сферической астрономии, справедливое для всякого светила и в любой момент, гласит: звездное время (s) равно часовому углу (t) светила плюс его прямое восхождение (α) т. е.:

$$s = t + \alpha \dots \dots \dots (3)$$

откуда

$$t = s - \alpha \dots \dots \dots (4)$$

Следовательно, если нам известны звездное время и прямое восхождение второго среднего солнца в этот момент, то тем самым определится и часовой угол второго среднего солнца.

Прямое восхождение второго среднего солнца вычисляется по таблицам движения солнца и дается в астрономических ежегодниках под рубрикой: Звездное время в средний Гриничский полдень или полночь.

¹⁾ Основную терминологию см. Н. Ци н г е р. „Курс Астрономии“ (часть теоретическая). 2-ое изд. 1922 г., стр. 144—157.

²⁾ По смыслу этих определений знак $+$ отвечает отставанию часов, знак $-$ — упреждению.

Таким образом, задача определения среднего времени сводится к нахождению звездного времени; эта последняя задача решается при помощи того же уравнения (3). Если нами измерен часовой угол некоторого светила, прямое восхождение которого нам известно, то мы тем самым определим и искомое звездное время. В частном случае, если мы наблюдаем некоторое светило в часовом угле равном нулю, т. е. в момент его верхней кульминации, то формула (3) переходит в основное равенство меридианных наблюдений:

$$s = \alpha \dots \dots \dots (5)$$

т. е. звездное время равно прямому восхождению светила, кульминирующего в данный момент.

Из сказанного следует, что, помимо случайных ошибок наблюдений, на определения времени влияют систематические и случайные ошибки звездного каталога, откуда берутся координаты звезд (их прямые восхождения α и склонения δ), кроме того, на определения звездного времени влияют систематические ошибки, вызываемые неточностью принятых постоянных прецессии, нутации и абберации, с помощью которых вычисляются координаты звезд, а на определения среднего времени — неточность таблиц солнца.

На Парижской международной конференции астрономов в мае 1896 г. приняты значения постоянных, данных S. Newcomb'ом, и его таблицы солнца, а поэтому измерения времени в такой же степени условны, как и измерения при помощи любых иных физических единиц.

Что же касается звездных каталогов, содержащих сводку данных различных обсерваторий, то наиболее полными являются три:

1. Каталог составленный S. Newcomb'ом.¹⁾
2. Новый фундаментальный каталог A. Auwers'a.²⁾
3. Предварительный каталог L. Boss'a.³⁾

Астрономическая практика последних лет высказалась в пользу каталогов Auwers'a и Boss'a. Из этих трех каталогов в Главной Палате принят с 1923 г. исключительно каталог Boss'a.

§ 8. Формула Tobias Mayer'a для вывода поправки часов. В настоящее время для станций с постоянной установкой инструмента признается наиболее совершенным и пользуется наибольшим распространением способ определения поправки часов из наблюдений прохождений звезд через меридиан. Этот способ применяется в Главной Палате.

При выводе поправки часов из наблюдений пользуются следующей формулой Tobias Mayer'a:⁴⁾

$$s - T = u + i \frac{\cos(\varphi \pm \delta)}{\cos \delta} + \alpha \frac{\sin(\varphi \pm \delta)}{\cos \delta} \quad \left| \begin{array}{l} - \text{ для верхней кульминации.} \\ + \text{ для нижней кульминации.} \end{array} \right. \dots \dots (6)$$

где α — видимое прямое восхождение звезды в момент ее наблюдения, T — отмеченный по рабочим часам момент прохождения звезды через коллимационную плоскость⁵⁾ пассажного инструмента, u — искомая поправка рабочих часов, i — наклонность горизонтальной оси инструмента, выраженная в секундах времени, α — азимут инструмента, т. е. угол между его коллимационной плоскостью и плоскостью меридиана при равном нулю наклоне горизонтальной оси, φ — широта места наблюдения и δ — склонение наблюдаемой звезды.

¹⁾ S. Newcomb. Catalogue of fundamental stars for 1875 and 1900. Washington 1898. Wash. Astron. Papers, 8.

²⁾ Dr. J. Peters. Neuer Fundamentalkatalog des Berliner Astronomischen Jahrbuchs nach den Grundlagen von A. Auwers. Für die Epochen 1875 und 1900.

³⁾ Lewis Boss. Preliminary General Catalogue of 6188 Stars for the Epoch 1900. Washington. 1910.

⁴⁾ Н. Цигер. Курс астрономии (часть практическая) 2-е изд. 1915 г. Стр. 229—230.

⁵⁾ Коллимационная плоскость перпендикулярна горизонтальной оси инструмента и проходит через оптический центр объектива.

Заметим, что, в отличие от оригинальной формулы Мауге'а, нами опускается член, зависящий от коллимации прибора, ибо эта инструментальная ошибка уничтожается соответственным расположением наблюдений.

§ 9. Определение координат звезд и наблюдаемых моментов прохождений. Прямые восхождения α наблюдаемых звезд интерполируются с разностями 2-го порядка по данным различных ежегодников или для звезд, не помещенных в ежегодниках, вычисляются по формулам Бесселя. При вычислениях принимаются в расчет и нутационные члены короткого периода. Полученные таким образом прямые восхождения приводятся к системе каталога Босса и исправляются за суточную аберрацию. Склонения δ , входящие лишь в коэффициенты при малых инструментальных ошибках a и i , выписываются без всякой интерполяции.

Момент прохождения звезды через коллимационную плоскость пассажного инструмента определяется следующим образом.

Начав наблюдение звезды при одном положении инструмента (например, окуляр к западу) минуты за две до ее прохождения через меридиан, вращают винт саморегистрирующего микрометра, удерживая звезду на его нити на протяжении $2\frac{1}{2}$ —3 оборотов винта. Вместе с винтом вращается составляющий с ним одно целое агатовый барабан с расположенными на его периферии платиновыми контактами. При определенных угловых положениях барабана, а следовательно, при определенных положениях в поле зрения нитей, контакты замыкают цепь хронографа, при чем моменты замыканий отмечаются соответствующими сигналами на ленте хронографа.

Получив запись нужного числа сигналов, инструмент переключают на 180° и наблюдают звезду в новом положении (окуляр к востоку) после ее прохождения через меридиан; при этом винт микрометра вращается в обратном направлении.

Таким образом на ленте хронографа будут автоматически отмечены моменты симметричных положений звезды относительно коллимационной плоскости прибора, и среднее арифметическое из этих моментов даст искомый момент прохождения.

Сигнал микрометра (период замкнутого состояния тока) имеет известную длительность, зависящую от ширины контакта и склонения наблюдаемой звезды. При промерах хронографической записи для звезд со склонениями $\delta < 70^\circ$ отчитывают обыкновенно 10 пар симметричных сигналов; отчет делается по концу сигнала (размыкание тока), и арифметическое среднее из этих моментов приводится к середине контакта при помощи формулы:

$$\Delta T = -\frac{\kappa}{2} \text{Sec } \delta \dots \dots \dots (7)$$

где ΔT — поправка за ширину контакта в секундах времени, κ — ширина контакта в секундах времени и δ — склонение наблюдаемой звезды.

Для звезд близполюсных ($\delta > 80^\circ$) записывают 10—15 пар сигналов; при промерах этих записей отмечается как начало сигнала (замыкание тока), так и конец его (размыкание тока); среднее из этих моментов исправляется на эмпирически найденную редукцию:

$$\Delta_1 T = -0.017 \dots \dots \dots (8)$$

которую можно рассматривать, как поправку за половину запаздывания сигнала замыкания.

Эта величина была определена из наблюдений 17. VIII. 1919 г. и 20. XI. 1921 г. двукратным промером одних и тех же сигналов микрометра, наводя сначала на их середину, а затем на их конец (размыкание тока). Моменты, определенные по концу сигнала (размыканию), были приведены на основании формулы (7) к середине контакта и сопоставлены с результатами непосредственных измерений по первому способу (наводка на середину записанного сигнала).

Результаты этого исследования приведены в таблице I.

Таблица I.

17 августа 1919 г.			20 ноября 1921 г.		
Название звезды	δ	$\frac{1}{2}$ западн. сигнала замыкания.	Название звезды	δ	$\frac{1}{2}$ западн. сигнала замыкания.
ϵ Draconis	+ 59,3	0,021	ν Androm.	+ 41,9	0,024
γ Lyrae	32,6	10	α Arietis	23,1	22
ι Cygni	51,6	17	ξ Ceti	8,5	15
θ Cygni	50,0	12	γ Triang.	33,5	22
15 Cygni	37,2	26	ϵ Arietis	10,2	14
α Aquilae	+ 8,7	16	ξ^2 Ceti	8,1	17
θ Aquilae	- 1,1	14	ν Arietis	21,6	10
σ' Cygni sq.	+ 46,5	27	θ Persei	48,9	21
γ Cygni	40,6	6	δ Arietis	26,9	12
θ Cephei	62,7	24	τ Persei	52,4	12
Cygnus	+ 56,4	11	β Persei	40,7	19
			δ Arietis	19,4	14
Среднее: ¹⁾		0,017			0,017
		$\pm 0,002$			$\pm 0,001$

Рабочими часами служат часы R_{07}^* , малыми ошибками минутного периода²⁾ которых в данном случае можно пренебречь.

§ 10. Определение инструментальных ошибок и вывод поправки часов. Наклонность горизонтальной оси пассажного инструмента определяется для каждой звезды, отчитывая в начале и конце наблюдения расположенный на этой оси уровень. Другая инструментальная ошибка—азимут инструмента α , является такой же неизвестной величиной, как и поправка часов u , и может быть определена лишь по наблюдениям звезд с различными склонениями. Принят способ раздельного определения α и u .

Исправляя образованные для различных звезд по формуле (6) разности $(\alpha - T)$ на наклонность горизонтальной оси и, в случае надобности, на ход часов, и обозначив:

$$b = \alpha - T - i \frac{\cos(\varphi \mp \delta)}{\cos \delta}$$

$$A = \frac{\sin(\varphi \mp \delta)}{\cos \delta}$$

получаем, соответственно числу наблюдаемых звезд, систему условных уравнений с двумя неизвестными α и u . Эти уравнения резко делятся на две группы:

1. Группа уравнений для звезд времени ($\delta < 68^\circ$), служащих преимущественно для вывода поправки часов u :

$$\begin{aligned} u + A_1 \alpha &= b_1 \\ u + A_2 \alpha &= b_2 \\ u + A_3 \alpha &= b_3 \\ &\dots \\ u + A_n \alpha &= b_n \end{aligned}$$

¹⁾ Ошибки, как и в дальнейшем, даны средние квадратичные.

²⁾ Под ошибками минутного периода часов подразумеваются отступления сигналов прерывателя от идеально равномерных секунд.

2. Группа уравнений для звезд близполюсных ($\delta > 80^\circ$), служащих исключительно для определения азимута:

$$\begin{aligned} u + A_{n+1} a &= b_{n+1} \\ \dots \dots \dots \\ u + A_{n+j} a &= b_{n+j} \end{aligned}$$

Образовав среднее из n уравнений для звезд времени, получаем:

$$u + a A_m = b_m \dots \dots \dots (9)$$

где:

$$A_m = \frac{\sum A_i}{n} \quad \text{и} \quad b_m = \frac{\sum b_i}{n}$$

Полученное выражение можно, очевидно, рассматривать как условное уравнение некоторой фиктивной звезды, наиболее свободной от ошибок координат и наблюдений. Решая это условное уравнение совместно с уравнением каждой близполюсной звезды, мы находим j различных значений азимута a .

Кроме того, азимут a определяется еще и из звезд времени решением первых n уравнений либо по способу наименьших квадратов¹⁾, либо по следующему упрощенному методу.

Из каждого уравнения звезды времени вычитается уравнение (9), или наоборот, так, чтобы всегда было:

$$\pm(A_i - A_m) > 0,$$

и полученные разности складываются.

Тогда для определения a из звезд времени получается уравнение:

$$a \sum [\mp(A_i - A_m)] = \sum [\pm(b_i - b_m)] \dots \dots \dots (10)$$

Из всех найденных $j+1$ значений азимута a , принимаемых в огромном большинстве случаев с равными весами, берется арифметическое среднее. Этот средний азимут подставляется в условные уравнения наблюдаемых n звезд времени и получается столько же значений поправки часов u ; среднее арифметическое из этих u , исправленное на параллакс перьев хронографа, принимается за наиболее вероятное значение поправки часов.

§ 11. Факторы, влияющие на точность определения поправки часов. Ошибка λ_u поправки часов, определенной по одной звезде времени выражается формулой:²⁾

$$\lambda_u = \lambda_\alpha - \lambda_\tau - \lambda_i I - \lambda_a A,$$

где λ_α , λ_τ , λ_i и λ_a — соответственно ошибки при определении прямого восхождения, наблюдаемого момента прохождения звезды, наклонности оси и азимута инструмента; I и A коэффициенты при инструментальных постоянных i и a в формуле (6).

Ошибки λ_α , λ_τ и $I\lambda_i$ имеют для различных звезд данного вечера, главным образом, случайный характер. Ошибка же азимута λ_a вполне определена по знаку и способна сказаться систематически на определении поправки.

Обозначив сумму первых 3-х ошибок через λ , мы получаем следующие уравнения ошибок для n звезд времени:

$$\begin{aligned} (\lambda_u)_1 &= \lambda_1 - A_1 \lambda_a \\ (\lambda_u)_2 &= \lambda_2 - A_2 \lambda_a \\ \dots \dots \dots \\ (\lambda_u)_n &= \lambda_n - A_n \lambda_a \end{aligned}$$

¹⁾ При решении первых n уравнений по способу наименьших квадратов найденная при этом величина u служит и для вывода азимутов из j уравнений близполюсных звезд.

²⁾ Малой систематической ошибкой от неточного знания цены деления уровня пренебрегается.

а для их среднего арифметического:

$$(\lambda_n)_m = \frac{1}{n} (\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n) - A_m \lambda_n.$$

Переходя к квадратичным средним ошибкам и замечая, что квадратичное среднее всех величин $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$, вообще говоря, выражается формулой вида:

$$\sqrt{\varepsilon_0^2 + \varepsilon_1^2 \sec^2 \delta}$$

находим:

$$(\varepsilon_n)_m^2 = \frac{1}{n} \varepsilon_0^2 + \frac{1}{n^2} \varepsilon_1^2 (\sec^2 \delta_1 + \dots + \sec^2 \delta_n) + A_m^2 \varepsilon_n^2.$$

Эта формула показывает, что ошибка определения азимута не исключается простым увеличением звезд времени. Парализовать ее можно двумя путями: либо увеличить точность определения азимута наблюдением возможно большего числа близполюсных звезд, либо уменьшить средний коэффициент A_m азимута соответственным подбором звезд.

Выполнению первого условия препятствует наличие сравнительно малого числа хорошо определенных близполюсных звезд. Полному же осуществлению второго условия препятствует высокая широта обсерватории Главной Палаты мер и весов (около 60°). Действительно, коэффициент азимута:

$$A = \frac{\sin. (\varphi \mp \delta)}{\cos. \delta}$$

равен нулю для звезд, кульминирующих в зените, положителен — для более южных и отрицателен — для более северных звезд, и, следовательно, для невозможного уменьшения среднего коэффициента азимута требуется равномерное распределение наблюдаемых звезд по обе стороны зенита. Но, с другой стороны, возрастание случайной ошибки наблюдения:

$$\sqrt{\varepsilon_0^2 + \varepsilon_1^2 \sec^2 \delta}$$

с увеличением склонения (средняя ошибка наблюдения звезды имеющей $\delta = 60^\circ$ примерно в два раза больше средней ошибки звезды, имеющей $\delta = 0^\circ$) ограничивает зону звезд времени узкой полосой к северу от зенита.

§ 12. Каталог пассажного инструмента Главной Палаты. При составлении каталога пассажного инструмента был установлен для звезд времени верхний предел $\delta = 68^\circ$, а бедность хорошо определенными звездами зоны благоприятной в смысле уменьшения влияния ошибки азимута не только понизила нижний предел до $\delta = 20^\circ$, но в некоторых частных случаях заставила и выйти из него.

Из числа звезд, входящих в каталог пассажного инструмента (около 400 звезд) для текущих наблюдений всякий раз выбирается 10—12 звезд времени и 3—4 близполюсных звезды, составляющих программу наблюдений. Увеличение числа звезд сверх указанного не дает сколь-нибудь заметного уменьшения ошибок наблюдений.

Как показал опыт, величина среднего коэффициента азимута звезд времени каталога пассажного инструмента колеблется в пределах от 0,1 до 0,4, составляя в среднем 0,3.

Выбор для каталога звезд времени в пределах от $\delta = 68^\circ$ до $\delta = 20^\circ$ позволил использовать для вывода азимута инструмента и звезды времени по формуле (10) ибо в этих условиях азимут определяется из звезд времени со средней ошибкой наблюдения одной звезды времени, а такова же, примерно, и точность определения азимута по одной близполюсной звезде.

Глава III. Метод сличения часов.

§ 13. Цель сличения часов. В результате астрономических определений времени мы получаем поправку только рабочих часов R_{07}^* , относящуюся к среднему моменту звездных наблюдений. Нам же необходимо знать эту величину и для любого момента, ибо лишь в этом случае мы будем в состоянии дать точное значение момента, отмеченного по рабочим часам.

Эта задача, которую мы называем задачей хранения времени, разрешается, в общих чертах, следующим образом: произведенные в различные дни определения времени позволяют вычислить суточные ходы рабочих часов внутри промежутка между наблюдениями; зная же ходы, легко найти и поправки этих часов для интересующих нас промежуточных моментов. Способы вычисления промежуточных ходов существенным образом зависят от числа дней, протекших между определениями времени, и от полноты наших знаний о влиянии на ход часов различных факторов (температуры, амплитуды маятника, плотности окружающей среды и т. д.). Кроме того, астрономическая практика показывает, что ход даже точнейших часов подвержен случайным колебаниям, не поддающимся учету. Протекающие отсюда ошибки можно уменьшить, применяя для определения точного времени не одни, а несколько часов. В таком случае, поправки часов, не применявшихся при астрономических наблюдениях, определяются сравнением их незадолго до астрономических наблюдений с рабочими часами.

Такие же точно сравнения периодически производятся и в промежуточные моменты. Эти сравнения служат для сопоставления поправок, проинтерполированных по различным часам.

Пользуясь результатами сравнений, мы можем получить для одного и того же момента ряд независимо найденных поправок для рабочих часов R_{07}^* ; соединяя эти поправки в один окончательный результат, мы компенсируем до известной степени случайные ошибки отдельных часов и получаем данные для суждения о точности найденной промежуточной поправки часов.

§ 14. Способ сличения часов. Сличения часов производятся ежедневно около полудня по местному среднему времени (Главной Палаты) и начинаются отчетами температуры, давления под колпаками часов, амплитуды маятников, влажности подвалов и атмосферного давления. Затем часы включаются на хронограф так, что первым пером хронографа (удаленным от корпуса) все время пишут часы R_{07}^* , а другим — включаемые в известной последовательности все остальные часы; при этом часы работают без промежуточных реле, т. е. во время сличений через прерыватели часов проходит ток до 120 миллиампер.

Для определения параллакса перьев по окончании сличения часов для одной пары их, например для R_{07}^* и R_{01}^* , производится дополнительное сличение, при котором часы R_{07}^* пишут уже на втором пере, а часы R_{01}^* — на первом. Для измерения хронограмм служит компаратор Опгольцера, видоизмененный Ф. И. Блумбахом, (шкала прибора соответствует 1 секунде и разделена на 100 частей, отчет по шкале производится с помощью прикрепленного к подвижному указателю наклонного зеркальца). В виду того, что хронограф установлен в центральной комнате 1-го этажа, т. е. подвергается очень малым колебаниям температуры, длина его секунды (т. е. скорость движения его ленты) держится весьма постоянной. Поэтому при промере хронограмм пользуются средней длиной одной секунды.

Первоначально средняя длина секунды в миллиметрах определялась промером 20 секунд по ленте хронографа, а неподвижные нити прибора устанавливались на расстоянии, соответствующем 1 секунде, по миллиметровой шкале, нанесенной на дне паза, направляющего ленту.

В настоящее время, в виду того, что интервал между 11-ой и 15-ой секундами часов R_{07}^* свободен от ошибок минутного периода, расстояние между нитями подгоняется так, чтобы оно равнялось $1/4$ промежутка между записанными сигналами этих секунд. Промер хронограмм ведется с конца записи, при чем наводка делается на размыкания нечетных секунд часов R_{07}^* , R_{09}^{\odot} , R_{11}^* , R_{13}^{\odot} и $M\Phi^{\odot}$ и четных секунд часов H_{11}^{\odot} и B^{\odot} . Выбор сигнала размыкания обусловлен малой зависимостью этой фазы работы хронографа от силы тока в цепи.

Ошибки минутного периода часов исключаются отчитыванием сигналов только вполне определенно выбранных секунд, а именно: для часов R_{09}^{\odot} , R_{11}^* и R_{13}^{\odot} берут десять нечетных секунд с 59-ой по 41-ую, а для остальных — пять нечетных секунд с 59-ой по 51-ую.

Минутный период часов R_{07}^* , на фоне которых проходит все сличение, обезвреживается внесением соответствующих поправок. Заметим, что при принятом порядке сличения часов и способе промера хронограмм эта поправка отчета совпадает по знаку и величине с ошибками опорных секунд часов R_{07}^* и не зависит от величины отчета компаратора. В таблице II приведены ошибки минутного периода часов R_{07}^* по последнему определению 6.XII.1922 г. и вытекающие отсюда поправки для среднего из десяти и из пяти отчетов.

Таблица II.

№№ секунд R_{07}^*	Ошибки минутного периода.	Поправки для среднего из 10 отчетов.	Поправки для среднего из 5 отчетов.	№№ секунд R_{07}^*	Ошибки минутного периода.	Поправки для среднего из 10 отчетов.	Поправки для среднего из 5 отчетов.
1	- 0,001	- 0,005	- 0,004	31	+ 0,004	+ 0,004	+ 0,004
3	- 2	- 4	- 3	33	+ 3	+ 4	+ 4
5	- 1	- 4	- 2	35	- 1	+ 4	+ 3
7	+ 2	- 3	0	37	- 1	+ 3	+ 1
9	+ 1	- 2	+ 1	39	- 3	+ 2	+ 1
11	+ 3	- 1	+ 2	41	- 2	+ 2	- 1
13	+ 4	0	+ 3	43	- 2	- 0	- 3
15	+ 3	+ 1	+ 4	45	- 8	- 1	- 4
17	+ 4	+ 2	+ 4	47	- 3	- 2	- 5
19	+ 6	+ 3	+ 5	49	- 6	- 3	- 6
21	+ 4	+ 3	+ 5	51	- 2	- 3	- 6
23	+ 5	+ 4	+ 5	53	- 4	- 4	- 6
25	+ 3	+ 4	+ 5	55	- 5	- 5	- 6
27	+ 4	+ 5	+ 5	57	- 2	- 5	- 5
29	- 1	+ 4	+ 4	59	- 6	- 5	- 5

Таблица составлена по аргументу начальной опорной секунды R_{07}^* и предполагается, как уже было выше сказано, что опорными являются последовательные убывающие нечетные секунды.

§ 15. Обработка результатов сличения. Обработка результатов сличения начинается определением поправки на параллакс перьев. Формула этой поправки выводится на основании геометрических соображений (рис. 6). Крайние вертикальные сплошные

линии представляют неподвижные нити, а средняя—подвижную нить компаратора. Вертикальные пунктирные линии показывают положение перьев на сигнале, если бы перья хронографа были свободны от параллакса. Пусть A и B —величины отчетов в тысячных долях секунды, действительно сделанных при измерениях

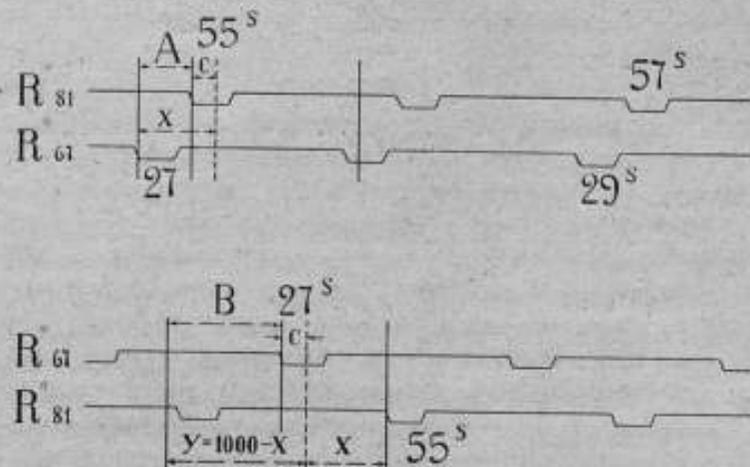


Рис. 6.

прямого и обратного сличений часов, x и y —величины истинных отчетов тех же сигналов при отсутствии параллакса перьев, C —поправка на параллакс перьев действительных отчетов.

Тогда можно написать:

$$x = A + C; \quad y = B + C.$$

а так как при малых ходах часов можно положить:

$$y = 1000 - x,$$

то, решая систему трех уравнений, мы получим выражение поправки C на параллакс перьев хронографа в тысячных долях секунды:

$$C = \frac{1}{2} [(1000 - B) - A] \dots \dots \dots (11)$$

Записи промера хронограмм вносятся в книгу сличений. Из всех отчетов хронограмм для каждого часа составляется арифметическое среднее, и это среднее исправляется внесением поправок за ошибки от параллакса перьев и минутного периода часов R_{67}^* . Затем составляются разности Δx показаний часов вида:

$$R_{67} - X = \Delta x,$$

где R_{67} — показания часов R_{67}^* , а X — показания любых сличаемых часов. Эти разности приводятся к абсолютному моменту $12^h 0^m 0^s$ среднего местного (Главной Палаты) времени¹⁾, при чем весьма малыми относительными ходами часов пренебрегается.

Показание R_{67}^* , соответствующее среднему местному полдню, определяется выражением:

$$S - (* - R_{67})$$

где S — звездное время в данный средний местный полдень, определяемое по астрономическому ежегоднику, а $(* - R_{67})$ — поправка часов R_{67}^* , экстраполированная для данного момента по ближайшему звездному наблюдению.

¹⁾ Счет времени гражданский, т. е. от полуночи.

Для пояснения всего сказанного приводим выписку из книги сличений (Таблица III).

Таблица III.

Наблюдатель Г. Н. Мокеев.

8.VII.1923 г.

	$R_{86}^{\odot} \infty R_{67}^*$	$R_{77}^* \infty R_{81}^*$	$R_{81}^* \infty R_{67}^*$	$R_{88}^{\odot} \infty R_{67}^*$
	12 ^h 0 ^m 03 ^s	7 ^h 02 ^m 00 ^s	7 ^h 01 ^m 01 ^s	11 ^h 59 ^m 00 ^s
	59 ^s 21,520	37 ^s 59,660	59 ^s 36,380	59 ^s 31,231
	523	660	378	228
	520	644	390	218
	518	642	388	212
	513	638	395	210
	517	640	397	200
	509	640	381	192
	497	631	400	197
	478	643	390	190
	41 ^s 3,472	19 ^s 44,640	41 ^s 18,390	41 ^s 13,188
Среднее:	50 ^s 12,507	28 ^s 50,644	50 ^s 27,390	50 ^s 22,207
Поправка на паралл:	- 17	-	- 17	- 17
Поправка на минутный период R_{67}^* :	+ 3	-	+ 3	+ 4
Исправленные отчеты:	50 ^s 12,493	-	50 ^s 27,376	50 ^s 22,194
$R_{67} - X$	+ 19 ^h 2 ^m 22,493	-	+ 37,376	+ 19 ^h 0 ^m 32,194
Редукция к полудню:	- 0 ^s 384	-	0	+ 0 ^s 081
$R_{67} - X$ 12 ^h 0 ^m 0 ^s среднего местного времени:	+ 19 ^h 2 ^m 22,109	-	+ 37,376	+ 19 ^h 0 ^m 32,275

Записи отчетов хронограмм ведутся в порядке промера лент. Последовательно убывающие секунды в книге не указываются, отмечаются только начальные (опорные) и конечные секунды.

Поправка на параллакс определяется из 2-х сличений R_{67}^* и R_{81}^* :

$$C = \frac{(1000 - 644) - 390}{2} = \frac{356 - 390}{2} = -17.$$

Поправка на минутный период R_{67}^* находится из таблицы II по аргументам 21°, 37° и 31°.

Показание R_{07}^* , соответствующее среднему местному полдню, определяется так:

S в 12^h	7^h	1^m	$19^s,7$
Поправка R_{07}^*			+ $27^s,9$
Показание R_{07}^* в 12^h	7^h	0^m	$51^s,8$

Редукция к полудню находится по таблице перевода звездного времени в среднее по аргументам: $-1^m 20^s,7$ и $+29^s,6$.

Приведенные к моменту $12^h 0^m 0^s$ среднего местного времени показания часов заносятся в журнал сличений, в котором записываются ежедневные результаты сличений и интерполяция поправок для нормальных часов (см. главу VI).

Средняя ошибка сличения часов оценивается нами, по ряду причин, равной $\pm 0^s,005$, несмотря на то, что средняя ошибка одного отчета записанного на хронограмме сигнала не превышает $\pm 0^s,0045$.

Глава IV. Исследование часов за период октябрь 1921 г.—декабрь 1922 г.

§ 16. Поправки часов R_{07}^* и средние условия их работы. В течение указанного времени было произведено 14 определений поправок часов по звездным наблюдениям. Поправки основаны на каталоге Auwers'a, за исключением наблюдения 3. I. 1923 г., которое основано на каталоге Boss'a, принятом, как мы уже говорили, с 1923 года за фундаментальный.

С октября 1921 г. по январь 1922 г. наблюдения произведены с помощью саморегистрирующего микрометра, при чем до 20. XI. 1921 г. при измерении хронограмм наводка делалась на средину сигнала микрометра, и в поправки рабочих часов вносилась поправка $+0^s,017$, которая отличается от редукции (8) лишь знаком, но так же как и (8) может рассматриваться, как исправление результатов за половину запаздывания сигнала замыкания; в дальнейшем наводка делалась исключительно на сигнал размыкания, приводя результаты измерений к середине контакта по формуле (7):

$$\Delta T = -\frac{k}{2} \text{Sec } \delta,$$

при чем $\frac{k}{2}$ было найдено равным $0^s,0333$.

После 9. I. 1922 г. саморегистрирующий микрометр был снят для ремонта и все последующие наблюдения, за исключением наблюдения 23. X. 1922 г., когда подвергался предварительному испытанию саморегистрирующий микрометр, произведены при помощи окулярного микрометра с обыкновенной сеткой нитей. Сигналы регистрировались при помощи ключа Морзе, работавшего тоже на размыкание тока. Каждая звезда наблюдалась в обоих положениях инструмента (окуляр к западу и окуляр к востоку) и, как правило, бралось по 6 нитей с каждой стороны.

Поправкам придавались различные веса, сообразно, главным образом, числу звезд времени. При выводе ходов часов личная разность, происходящая от различных способов наблюдения, не принималась во внимание, в виду больших промежутков времени, протекавших между определениями поправок.

Рабочими часами во время наблюдения служили: с 31. X. по 20. XI. 1921 г. часы R_{07}^* ; с 3. XII. 1921 г. по 23. X. 1922 г. — контактный хронометр Nardin'a № 674*, сравнивавшийся до и после наблюдений с часами R_{07}^* ; и с 12. XII. 1922 г. по 3. I. 1923 г. — снова часы R_{07}^* .

Параллакс перьев определялся по формуле (11).

Средние значения температуры, ее расслоения (разности показаний верхнего и нижнего термометров) и амплитуды маятников часов для промежутков времени между звездными наблюдениями выведены из производившихся при сличениях

часов отчетов этих величин. Для вывода средних значений названных величин служила формула ¹⁾:

$$A_m = A'_m + \frac{(a'_0 - A'_m)K_0 + (a'_{n+1} - A'_m)K_{n+1}}{n + K_0 + K_{n+1}} \dots \dots \dots (12).$$

где A'_m — искомое среднее значение величины за весь промежуток времени между определениями поправок из звездных наблюдений, равное:

$$A'_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} a'_i,$$

где a'_i — среднее значение величины за одни сутки, между крайними полуднями, лежащими внутри всего промежутка времени между звездными наблюдениями, a'_0 и a'_{n+1} — средние значения величины за промежутки времени, протекшие соответственно от предыдущего звездного наблюдения до первого полудня и от последнего полудня до последующего наблюдения; K_0 и K_{n+1} — продолжительности этих последних промежутков, выраженные в долях суток.

Когда отчеты производились не каждый день, для вычисления по формуле (12) брались числа, полученные путем интерполяции по графикам, построенным по имеющимся точкам.

В таблице IV приведены все данные, относящиеся к 14 звездным наблюдениям, произведенным в рассматриваемый период.

Т а б л и ц а IV.

Среднее гражданское местное время	Число звезд времени.	Вес поправки.	Поправка часов R_{07}^* (* — R_{01}).	Средний суточный ход.	Средняя температура.	Среднее температурное расхождение.	Средняя амплитуда маятника.	Вес хода.
1921. X. 31,763	2	1/4	— 1,627	— 0,059	+ 15,07	— 0,08	80,29	0,1
XI. 4,723	9	1	— 1,860	— 0,058	+ 14,88	— 0,09	42	0,3
XI. 11,778	10	1	— 2,272	— 0,034	+ 15,01	— 0,09	48	0,4
XI. 20,942	10	1	— 2,583	— 0,073	+ 14,65	— 0,09	44	0,6
XII. 3,922	4	1/2	— 3,530	— 0,116	+ 13,45	— 0,11	40	1
1922. I. 9,979	5	1/2	— 7,829	— 0,091	+ 13,55	— 0,08	40	1
IV. 20,965	6	1/2	— 13,046 ²⁾	— 0,071	+ 14,35	— 0,02	33	1
V. 18,012	19	1	— 14,958	— 0,088	+ 13,67	+ 0,05	48	1
VI. 28,925	2	1/4	— 18,633	— 0,003	+ 14,84	+ 0,20	32	1
VIII. 16,041	4	1/2	— 18,761	— 0,001	+ 15,20	+ 0,17	51	1
X. 23,854	5	1/2	— 18,853	— 0,022	+ 14,44	+ 0,11	47	1
XII. 12,847	5	1/2	— 19,960	+ 0,058	+ 15,35	+ 0,16	24	0,1
XII. 15,763	10	1	— 19,793	+ 0,040	+ 15,81	+ 0,20	08	1
1923. I. 3,800	8	1	— 19,024					

¹⁾ Эта формула основана на приближенном интегрировании по способу трапеций.

²⁾ Часы R_{07}^* отстали на 4^с при замене аккумуляторов.

§ 17. Исследование абсолютных ходов часов $R_{от}^*$ по способу Wapach'a¹⁾. Исследование зависимости между ходами часов и переменными условиями их работы преследует две цели: получить в любой момент наиболее надежные значения хода и, следовательно, уточнить интерполяцию и экстраполяцию поправок часов, и получить данные для оценки достоинств часов, т.-е. определить средние величины не поддающихся учету случайных изменений ходов часов.

Для таких исследований применяют почти исключительно два метода: либо пытаются выразить наблюдаемые ходы функцией нескольких переменных факторов, например, температуры, температурного расслоения, амплитуды и т. д., либо пытаются связать изменения ходов с изменениями перечисленных факторов, т.-е. разыскивают функцию, связывающую первые производные от ходов часов и факторов, влияющих на ходы часов (способ Wapach'a).

Первый из этих методов дает коэффициенты искомой функции с большими весами, чем второй, последний же более свободен от систематических ошибок и требует значительно меньших выкладок.

Желание сравнить результаты, даваемые обоими методами, а также то обстоятельство, что в данном случае (большие промежутки времени между наблюдениями) и второй метод не в полной мере предохраняет от систематических ошибок, побудили провести исследование обоими путями.

Разность каждых двух смежных суточных ходов может быть представлена формулой:

$$\delta g = \alpha(\delta T) + \beta(\delta \theta) + \gamma(\delta A) + \tau \left(\frac{\delta t}{50} \right), \dots \dots \dots (13)$$

где δg , δT , $\delta \theta$, δA и δt — соответственно, изменения среднего хода, температуры, температурного расслоения, амплитуды и времени в сутках; α , β , γ , τ — искомые коэффициенты, связывающие изменение суточного хода с изменением перечисленных факторов.

Для определения этих коэффициентов составим условные уравнения на основании таблицы IV; полученные коэффициенты условных уравнений приведены в таблице V.

Т а б л и ц а V.

δg .	δT .	$\delta \theta$.	δA .	δt .	В е с.
+ 0,001	- 0,19	- 0,01	+ 0,13	+ 5,5	0,1
+ 24	+ 0,13	0,00	+ 0,06	+ 8,1	0,2
- 39	- 0,36	0,00	- 0,04	+ 11,1	0,2
- 43	- 1,20	- 0,02	- 0,04	+ 25,0	0,4
+ 25	+ 0,10	+ 0,03	0,00	+ 69,0	1,3
+ 20	+ 0,80	+ 0,06	- 0,07	+ 64,0	1,0
- 17	- 0,68	+ 0,07	+ 0,15	+ 34,5	0,8
+ 85	+ 1,17	+ 0,15	- 0,16	+ 45,0	1,0
- 2	+ 0,36	- 0,03	+ 0,19	+ 58,5	1,4
- 21	- 0,76	- 0,06	- 0,04	+ 59,4	1,4
+ 62	+ 1,37	+ 0,09	- 0,39	+ 37,4	0,7

Все условные уравнения образованы разностями двух смежных ходов, за исключением последнего, для которого выпущен ход + 0,058, определенный из поправок 12. XII и 15. XII. 1922 г., так как он отразился бы весьма неблагоприятно на весе двух последних уравнений.

¹⁾ См. Astronomische Nachr. B. 167 p. 65.

Веса, расположенные в последнем столбце таблицы, назначены на основании следующих соображений: квадрат средней ошибки разности двух смежных ходов может быть написан в виде:

$$\varepsilon_{\delta g}^2 = \varepsilon_u^2 \left[\frac{1}{a^2} \frac{1}{P_1} + \left(\frac{a+b}{ab} \right)^2 \frac{1}{P_2} + \frac{1}{b^2} \frac{1}{P_3} \right] + V_m^2 \frac{a+b}{ab},$$

где a и b — число суток, отделяющих 1-ую поправку от 2-ой и 2-ую от 3-ей поправки, P_1 , P_2 и P_3 — веса поправок, ε_u — средняя ошибка поправки с единицей веса и, наконец, V_m — средняя вариация хода часов, т.е. среднее случайное отклонение действительного хода от среднего хода¹⁾.

В виду значительных промежутков времени между поправками, ошибки последних сказываются на определениях ходов мало, поэтому уравнениям могут быть приписаны веса, обратно пропорциональные коэффициентам при V_m^2 .

Применение способа наименьших квадратов приводит к следующим нормальным уравнениям²⁾:

$$\begin{aligned} 5,3045x + 3,3414y - 0,5392z + 1,6701h - 2,3577 &= 0 \\ 4,3330y - 0,4880z + 1,9834h - 1,9965 &= 0 \\ + 0,2110 - 0,1168h + 0,3123 &= 0 \\ + 9,7053h - 1,2940 &= 0, \end{aligned}$$

в которых принято: $x = 10\alpha$, $y = \theta$, $z = 10\gamma$ и $h = 10\tau$.

Для нахождения наиболее вероятной формулы изменения хода, решим эти уравнения при нескольких предположениях относительно характера зависимости изменений хода от различных факторов, а именно полагая, что эти изменения в различных случаях совершенно не зависят от некоторых факторов, и поэтому соответствующее искомое неизвестное равно нулю; тогда мы получим следующие формулы изменения ходов:

Первое предположение: существует зависимость хода от температуры, температурного расслоения, амплитуды и времени:

$$\delta g = + 0,0280 (\delta T) + 0,1920 (\delta \theta) - 0,0297 (\delta A) + 0,0042 \left(\frac{\delta t}{50} \right) \dots \dots \dots (14).$$

$$\begin{aligned} \text{Средние ошибки: } \pm 0,0086 \quad \pm 0,0974 \quad \pm 0,0362 \quad \pm 0,0047. \\ \text{Средняя ошибка единицы веса: } \eta = \pm 0,0137. \end{aligned}$$

Второе предположение: существует зависимость хода от температуры, температурного расслоения и амплитуды:

$$\delta g = \pm 0,0284 (\delta T) + 0,2119 (\delta \theta) - 0,0264 (\delta A) \dots \dots \dots (15).$$

$$\text{Средние ошибки: } \pm 0,0085 \quad \pm 0,0944 \quad \pm 0,0356; \quad \eta = \pm 0,0136.$$

Третье предположение: существует зависимость хода от температуры, температурного расслоения и времени:

$$\delta g = + 0,0298 (\delta T) + 0,2134 (\delta \theta) + 0,0038 \left(\frac{\delta t}{50} \right) \dots \dots \dots (16).$$

$$\text{Средние ошибки: } \pm 0,0082 \quad \pm 0,0925 \quad \pm 0,0046; \quad \eta = \pm 0,0135.$$

Четвертое предположение: существует зависимость хода от температуры и температурного расслоения:

$$\delta g = + 0,0300 (\delta T) + 0,2295 (\delta \theta) \dots \dots \dots (17)$$

$$\text{Средние ошибки: } \pm 0,0080 \quad \pm 0,0886; \quad \eta = \pm 0,0132.$$

¹⁾ Не следует смешивать величину V_m с величиной δ , применяемой Wapach'ом для обозначения среднего случайного колебания хода часов двух смежных суток; вообще говоря, величина V_m хуже оценивает достоинство часов, ибо она несколько неопределенна тем, что не дается промежутка времени к которому следует ее отнести; применение же V_m в данном случае обусловлено стремлением придать большие веса ходам, выведенным из более длинных промежутков времени.

²⁾ Повторяющиеся коэффициенты нормальных уравнений не выписаны.

Пятое предположение: существует зависимость хода лишь от температуры:

$$\delta g = +0,0444 (\delta T) \dots \dots \dots (18)$$

Средние ошибки: $\pm 0,0073$; $\eta = \pm 0,0166$.

Из предыдущих формул видим, что коэффициенты при (δA) и $(\frac{\delta t}{\delta \theta})$ определены с ничтожной вероятностью. С другой стороны, резкий скачок средней ошибки единицы веса при переходе от четвертого к пятому предположению подтверждает существование зависимости хода от температурного расслоения, и поэтому за наиболее вероятную формулу изменения хода надо принять формулу (17)

Для определения средней вариации V_m хода часов остаточные ошибки формулы (17) дают уравнение:

$$0,625 \varepsilon_m^2 + 1,235 V_m^2 = 2473 \cdot 10^{-6}$$

полагая в нем ε_m — среднюю ошибку определения поправки часов, равной $\pm 0,02$, находим:

$$V_m = \pm 0,042$$

Чтобы получить величину δ — среднее случайное колебание ходов часов двух смежных дней, обратимся к средней ошибке единицы веса. Замечая, что влияние величины δ на точность определения одной разности хода выражается формулой¹⁾:

$$\delta^2 = \frac{a+b}{b \cdot ab} (1 + 2 ab) = \eta^2$$

и приняв во внимание, что единица веса придана разностям ходов, для которых коэффициент при δ равен 43 и 30, получаем приближенное значение:

$$\delta = \pm 0,0024$$

Такое малое значение δ следует скорее приписать большим промежуткам времени между поправками, чем качеству часов R_{67}^* .

Перейдем теперь к нахождению наиболее вероятной формулы, выражающей зависимость самих ходов от различных факторов.

Ход часов R_{67}^* можно представить формулой:

$$g = g_0 + \alpha (T - 15^\circ) + \theta \Theta + \tau \left[\frac{1}{50} (I \cdot D - 1922 \cdot V \cdot 22^d \cdot 0) \right] \dots \dots \dots (19)$$

где g — средний ход часов, g_0 — ход при начальных условиях, T — температура часов, Θ — температурное расслоение, $I \cdot D$ — дата, к которой относится данный средний ход, α , θ и τ — искомые коэффициенты.

На основании таблицы IV получаем следующие нормальные уравнения:

$$\begin{aligned} 9,5 x - 4,8900 y + 4,1100 z + 0,4046 h + 4,2610 &= 0 \\ + 7,8222 y + 3,6222 z + 2,4668 h - 5,3958 &= 0 \\ + 15,6130 z + 7,2763 h - 3,0170 &= 0 \\ + 4,4827 h - 2,3247 &= 0 \end{aligned}$$

в которых принято: $x = 10 g_0$, $y = 10 \alpha$, $z = \frac{1}{10} \theta$, $h = 40 \tau$.

Решим это уравнение, подобно предыдущему, при трех предположениях.

Первое предположение: ни один из коэффициентов α , θ и τ не равен нулю:

$$g = -0,0282 + 0,0420 (T - 15^\circ) + 0,0993 \theta + 0,0038 \left[\frac{1}{50} (I \cdot D - 1922 \cdot V \cdot 22^d \cdot 0) \right] \dots (20)$$

Средние ошибки: $\pm 0,0058 \pm 0,0058 \pm 0,0096 \pm 0,0096$.

Средняя ошибка единицы веса: $\eta = \pm 0,0097$.

¹⁾ См. W a n a c h. Astronomische Nachr., B. p.

Второе предположение: $h = \tau = 0$

$$g = -0,0319 + 0,0406 (T - 15^{\circ}) + 0,1831 \theta \dots \dots \dots (21)$$

$$\text{Средние ошибки: } \pm 0,0054 \quad \pm 0,0059 \quad \pm 0,0366; \quad \eta = \pm 0,0101$$

Третье предположение: $h = \tau = 0$ и $z = \theta = 0$:

$$g = -0,0138 + 0,0604 (T - 15^{\circ}) \dots \dots \dots (22)$$

$$\text{Средние ошибки: } \pm 0,0071 \quad \pm 0,0078; \quad \eta = \pm 0,0181.$$

За наиболее вероятную формулу хода была принята (21), ибо она уже при трех коэффициентах представляет наблюдаемые ходы достаточно хорошо.

Сопоставляя формулы (17) и (21), полученные обоими методами, мы видим, что они вполне согласуются в пределах их ошибок определения. За наиболее вероятную формулу хода, выражающую результат обработки всех данных, мы можем принять формулу (21):

$$g = -0,0319 + 0,0406 (T - 15^{\circ}) + 0,1831 \theta \dots \dots \dots (21)$$

Остаточные ошибки формулы (21) дают для определения средней вариации V_m хода уравнение:

$$0,749 \varepsilon_a^2 + 1,120 V_m^2 = 3102 \cdot 10^{-6},$$

$$\text{откуда при } \varepsilon^2 = 400 \cdot 10^{-6}$$

$$V_m = \pm 0^s,050$$

Для величины δ средняя ошибка единицы веса дает уравнение¹⁾:

$$\delta^2 = \frac{(a-1)(2a-1)}{6a} = \eta^2$$

подставив: $a = 49$; $\eta^2 = 102 \cdot 10^{-6}$, находим:

$$\delta = \pm 0^s,0026$$

Формула (21) хода была использована для экстраполяции поправок; при этом оказалось, что в течение периода с 6.III по 6.IV.1923 г. экстраполированные и наблюдаемые поправки R_{67}^{\pm} согласовались замечательно хорошо (температура часов поднялась за это время с 16° до $17^{\circ},5$), как это можно видеть из таблицы VI. Опорная поправка для экстраполяции выведена из наблюдений 5, 6 и 7 марта. После 6 апреля эта формула становится непригодной для экстраполяции.

Т а б л и ц а VI.

Среднее гражданское местное время 1923 г.	Наблюденное (*- R_{67})	Экстраполированное (*- R_{67})	Δ наблюденное - вычисленное.	Дата.	Наблюденное (*- R_{67})	Экстраполированное (*- R_{67})	Δ наблюденное - вычисленное.
Ш. 5,809	-13,56	-13,57	+ 0,01	Ш. 22,964	-11,64	-11,56	- 0,08
6,809	13,48	13,46	- 0,02	23,871	11,48	11,46	- 0,02
7,804	13,33	13,35	+ 0,02	25,875	11,18	11,24	+ 0,06
10,966	12,99	12,99	0,00	26,866	11,12	11,12	0,00
14,946	12,54	12,33	- 0,01	Ш. 30,016	10,84	10,78	- 0,06
19,837	11,97	11,96	- 0,01	IV. 2,846	10,33	10,38	+ 0,05
20,998	11,81	11,79	- 0,02	6,837	9,93	10,01	+ 0,08

¹⁾ См. W a n a s c h: Astronomische Nachr., B. p.

§ 18. Предварительные замечания о „барометрическом коэффициенте“ часов. Еще Бессель¹⁾ показал, что ход часов зависит от плотности окружающей атмосферы, вызывающей, по закону Архимеда, некоторую потерю маятника в весе.

Плотность воздуха при некоторой температуре T , барометрическом давлении H , приведенном к 0° , и упругости паров воды e выражается формулой:

$$D(T, H, e) = D(T_0, 760) \cdot \frac{H - 0,6e}{760} \cdot \frac{1}{[1 + \gamma(T - T_0)]} \dots \dots \dots (23)$$

где $D(T, H, e)$ и $D(T_0, 760)$ суть, соответственно, плотности воздуха при условиях наблюдения и при принятой за нормальную температуре T_0 и давлении сухого воздуха 760 мм; $\gamma = \frac{1}{273}$ — коэффициент расширения воздуха.

В первом приближении можно предположить, что изменения ходов будут пропорциональны изменениям плотности воздуха или, так как коэффициент $\frac{D(T_0, 760)}{760}$ есть число постоянное, изменениям некоторой величины P , устанавливаемой формулой:

$$P = (H - 0,6e) [1 + \gamma(T - T_0)]^{-2} \dots \dots \dots (24)$$

Между тем в литературе по вопросу об исследовании часов встречаются нередко случаи, где разыскивается зависимость хода часов непосредственно от барометрического давления, и укоренившееся название: „барометрический коэффициент“ являлось не раз причиной серьезных недоразумений²⁾.

Будем, поэтому, в дальнейшем коэффициент, связывающий изменения хода с изменением величины P называть коэффициентом плотности и обозначать его через $\frac{dg}{dP}$, и сохраним название барометрического коэффициента и обозначение $\frac{dg}{dH}$ для множителя, учитывающего лишь часть изменения плотности воздуха, т.е. изменение, зависящее от барометрического давления.

Для получения формулы, связывающей оба эти коэффициента, дифференцируем формулу (24), считая P за функцию от H , и e и T — за постоянные; замечая, что:

$$\frac{dg}{dP} = \frac{dg}{dH} \cdot \frac{dH}{dP}$$

мы находим:

$$\frac{dg}{dP} = \frac{dg}{dH} [1 + \gamma(T - T_0)] \dots \dots \dots (25)$$

Эта формула тем справедливей, чем медленней с течением времени изменяется температура по сравнению с барометрическим давлением. Очевидно, что формула эта также применима для коэффициентов, выражающих зависимость какого-нибудь фактора от величины P (плотности) и атмосферного давления H .

В частности, для амплитуды A часов мы имеем:

$$\frac{dA}{dP} = \frac{dA}{dH} [1 + \gamma(T - T_0)] \dots \dots \dots (26)$$

Перейдем к вопросу о влиянии на температурный коэффициент часов ошибочного предположения, что ход часов есть функция атмосферного давления H .

Обозначим через g , g_p , g_H , соответственно, ходы часов: наблюденный, приведенный к начальному значению величины P_0 и приведенный к начальному атмосферному давлению H_0 , тогда:

$$g = g_p + \frac{dg}{dP} (P - P_0),$$

$$g = g_H + \frac{dg}{dH} (H - H_0).$$

¹⁾ Bessel. Abhandlungen. B. III, Abt. 7, p. 139. Leipzig 1876.

²⁾ F. Haun: Das Elektrische Pendel der Leipziger Sternwarte. Astronomische Nachr. B. 192, p. 149.

³⁾ H. Kienle: Die beiden Riefler Uhren № 23 und 33. Astronomische Nachr. B. 204 p. 281 — 294.

В этой статье приведены достаточные тому примеры.

Дифференцируя эти уравнения по T (температуре) и сравнивая правые части, имеем:

$$\frac{d g_p}{d T} = \frac{d g_n}{d T} + \frac{d g}{d H} \cdot \frac{d H}{d T} - \frac{d g}{d P} \cdot \frac{d P}{d T} \dots \dots \dots (27)$$

С другой стороны, дифференцируя (24) по T находим:

$$\frac{d P}{d T} = - \left(H - \frac{3}{8} \epsilon \right) \gamma + \frac{d H}{d T} - \gamma (T - T_0) \frac{d H}{d T} \dots \dots \dots (28)$$

Подставляя это выражение в (27) и замечая, что последний член этого выражения мал по сравнению с $\frac{d H}{d T}$ и что приближенно $\frac{d g}{d P} = \frac{d g}{d H}$, получаем:

$$\frac{d g_p}{d T} = \frac{d g_n}{d T} + \frac{d g}{d P} \gamma \left(H - \frac{3}{8} \epsilon \right).$$

Принимая для Главной Палаты среднее значение $(H - \frac{3}{8} \epsilon) = 755$ мм, и $\gamma = \frac{1}{273}$, получаем окончательное выражение:

$$\frac{d g_p}{d T} = \frac{d g_n}{d T} + 2,77 \frac{d g}{d P} \dots \dots \dots (29)$$

и аналогично этому для амплитуды A :

$$\frac{d A_p}{d T} = \frac{d A_n}{d T} + 2,77 \frac{d A}{d P} \dots \dots \dots (30)$$

Формулы (29) и (30) показывают, что если ходы и амплитуды исправляются по аргументу атмосферного давления, то мы получаем совершенно превратное представление о температурных коэффициентах часов, и если дело идет об их исследовании, то необходимо придерживаться аргумента P , устанавливаемого формулой (24).

§ 19. Определение коэффициентов плотности из относительных ходов часов. Коэффициенты плотности определялись первоначально, как барометрические коэффициенты; для вспомогательных часов Главной Палаты разница между этими двумя коэффициентами лежит далеко за пределами точности их определения, для нормальных же часов мы приводим далее сводку всех таких определений, где эта разность и учитывается.

Относительные ходы двух часов, из которых одни идут при постоянной плотности, а другие—при плотности окружающей атмосферы, дают превосходный материал для весьма точного определения коэффициента плотности.

Действительно, разность относительных ходов часов двух смежных суток может быть выражена формулой:

$$\beta (\Delta P) = \Delta g + (\delta_1 - \delta_2) \dots \dots \dots (31)$$

где β —искомый коэффициент плотности, ΔP —изменение среднего значения P от одних суток к другим, Δg —изменение относительного хода, относимое нами за счет часов, подверженных влиянию атмосферного давления, δ_1 и δ_2 —случайные изменения ходов сравниваемых часов за этот же промежуток времени, включая сюда и изменения ходов, вызванные изменениями температуры.

Остановимся несколько на способе вывода среднего за данные сутки давления, определяемого барометрическим интегралом, а следовательно, и среднего значения величины P , на основании показаний барографа и ртутного барометра.

Пусть в моменты сравнений часов двух смежных суток нами сделаны отчеты по барографу: B_0 и B_1 , а по барометру: H_0 и H_1 и пусть в этих пределах между их показаниями существует линейная зависимость, т. е.:

$$H = c + b B \dots \dots \dots (32)$$

где H и B — одновременные показания барометра и барографа, c и b — некоторые постоянные. Точное значение барометрического интеграла есть:

$$\int_0^1 H dt,$$

где $H = f(t)$ и $\int_0^1 dt = 1$, т.е. за единицу времени принимаем сутки.

Два крайних отчета дают нам возможность получить приближенное значение интеграла, а именно:

$$\frac{H_0 + H_1}{2}$$

Для получения более точного значения будем искать поправку к этому значению; она определится из уравнения:

$$\int_0^1 H dt = \frac{H_0 + H_1}{2} + L;$$

заменяя H его выражением через B , по формуле (32) находим:

$$L = b \left[\int_0^1 B dt - \frac{B_0 + B_1}{2} \right]$$

и, следовательно:

$$\int_0^1 H dt = \frac{H_0 + H_1}{2} + b \left[\int_0^1 B dt - \frac{B_0 + B_1}{2} \right] \dots \dots \dots (33)$$

Все величины, входящие в правую часть этого уравнения, могут быть вычислены без особых затруднений. Кроме известных уже нам H_0 , H_1 , B_0 и B_1 сюда входят: $\int_0^1 B dt$, получаемый нами приближенным интегрированием по записи барографа, и коэффициент b , определяемый из одновременных отчетов барометра и барографа по формуле:

$$b = \frac{\Delta H}{\Delta B},$$

его можно назвать ценой деления барографа.

Выведенной формуле можно дать следующую геометрическую интерпретацию (рис. 7).

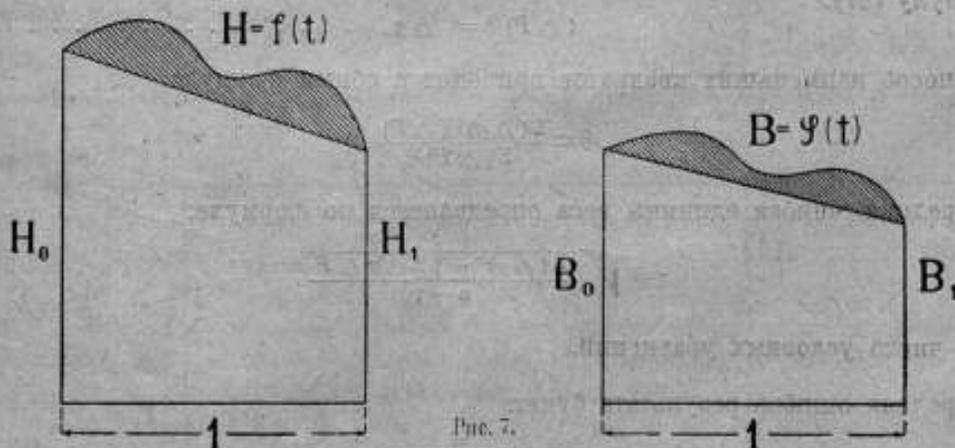


Рис. 7.

Пусть показания обоих приборов за данные сутки представляются кривыми $H = f(t)$ и $B = \psi(t)$. Взяв вместо $\int_0^1 H dt$ значение $\frac{H_0 + H_1}{2}$, мы делаем ошибку, равную площади заштрихованного участка левой кривой.

Так как приращения ординат обеих кривых пропорциональны, ибо мы принимаем $H = c + bB$, то упомянутая площадь пропорциональна площади аналогичного участка правой кривой, т.е.:

$$\int_0^1 H dt = \frac{H_0 + H_1}{2} = b \left[\int_0^1 B dt - \frac{B_0 + B_1}{2} \right] \dots \dots \dots (33a)$$

Формула (33) дает возможность построить удобную для вычислений схему. Приближенное значение интеграла по барографу получается из пяти отчетов по барограмме, кроме полуденных, а именно: в 16^ч и 20^ч одних суток и в 0^ч, 4^ч и 8^ч следующих суток по формуле трапеции, т.е.:

$$\int_0^1 B dt = \frac{1}{6} \left[\frac{B_0 + B_1}{2} + B^1 + B^{20} + B^{04} + B^{08} + B^8 \right]$$

Пример этих вычислений приводится в таблице VII.

Т а б л и ц а VII.

1922 г. Ноябрь. Число.	12 ^ч B ₀ и B ₁	$\frac{B_0 + B_1}{2}$	16 ^ч B ¹	20 ^ч B ²⁰	0 ^ч B ⁰⁴	4 ^ч B ⁰⁸	8 ^ч B ⁸	$\int_0^1 B dt$	$\frac{H_0 + H_1}{2}$	$b \left[\int_0^1 B dt - \frac{B_0 + B_1}{2} \right]$	$\int_0^1 H dt$
0/1	753,6 мм	759,8 мм	53,7	55,7	59,3	62,3	65,0	759,3 мм	757,5 мм	-0,5 мм	757,0 мм
1/2	766,1 "	763,1 "	66,1	66,0	65,6	64,7	63,1	764,8 "	769,8 "	+1,8 "	762,6 "
2/3	760,1 "	755,1 "	56,8	53,8	50,7	49,5	50,4	752,7 "	752,2 "	-2,5 "	749,7 "
3/4	750,1 "	749,8 "	49,8	49,5	49,2	49,2	49,7	749,5 "	746,8 "	-0,3 "	746,5 "
4/5	749,5 "	745,8 "	49,6	49,6	49,9	48,3	45,1	748,0 "	742,6 "	+2,3 "	744,9 "
5/6	742,1 "										

b = 1,05

Определив среднее значение давления H , мы, при помощи формулы (24), находим среднее значение P , а также необходимую величину ΔP , входящую в формулу (31):

$$(\Delta P) \beta = \Delta g \dots \dots \dots (31a)$$

Способ наименьших квадратов приводит к общей формуле:

$$\beta = \frac{\Sigma(\Delta g) (\Delta P)}{\Sigma(\Delta P)^2}$$

Средняя ошибка единицы веса определяется по формуле:

$$\gamma = \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta g)^2 - \beta \Sigma \Delta g \Delta P}{n-1}}$$

где n — число условных уравнений.

Средняя ошибка результата будет:

$$\epsilon_\beta = \frac{\gamma}{\sqrt{\Sigma(\Delta P)^2}}$$

Этим способом были обработаны ходы часов R_{21}^* , R_{20}^\odot , B^\odot и H_{21}^\odot относительно часов R_{21}^* , при чем, как это уже упоминалось, отыскивался барометрический коэффициент.

Полученные результаты представлены в таблице VIII.

Таблица VIII.

ЧАСЫ R_{81}^*					
1922 г.	β	$10^6 \frac{\Delta}{\beta}$	η	Вес β	Средний вывод.
Июль	+0,01631	± 73	$\pm 0,0113$	3	$\beta = +0,01751$ ± 24
Август	1803	± 63	91	4	
Сентябрь	1778	± 87	120	2	
Октябрь	1720	± 59	200	4	$T_m = +13,33 \text{ C.}$
Ноябрь	1784	± 30	115	17	$\eta_m = \pm 0,0115$
Декабрь	1682	± 54	155	5	
ЧАСЫ R_{88}^{\odot}					
Октябрь	+0,01600	± 38	$\pm 0,0119$	3	$\beta = +0,01589$ ± 47
Ноябрь	1650	39	125	3	$T_m = +14,54 \text{ C.}$
Декабрь	1481	46	92	2	$\eta_m = \pm 0,0113$
ЧАСЫ B^{\odot}					
Июль	+0,01410	± 147	$\pm 0,0210$	4	$\beta = +0,01420$ ± 64
Август	1757	230	334	2	
Сентябрь	1156	288	392	1	
Октябрь	1509	119	378	6	
Ноябрь	1410	115	446	6	
Декабрь	1252	131	424	5	
ЧАСЫ H_{81}^{\odot}					
Июль	+0,01122	± 326	$\pm 0,0410$	1	$\beta = +0,01120$ ± 100
Август	1189	248	357	2	
Сентябрь	1031	294	383	1	
Октябрь	1050	188	554	3	
Ноябрь	1110	158	600	4	
Декабрь	1298	280	954	1	

1) Для этих часов могли быть использованы ходы лишь с октября, ибо до этого они шли при почти постоянной плотности.

Одновременно с определением коэффициента плотности мы можем судить о сравнительном достоинстве часов и о их поведении за известный период по величине и по колебаниям отдельных значений средней ошибки единицы веса т.е. одной разности относительных ходов.

Вглядываясь в ход величин η для часов R_{81}^* и R_{88}^{\odot} , мы можем заключить, что качества их близки и почти не подвергались переменам; исключение составляет лишь октябрь месяц, когда R_{81}^* показывает ухудшение хода.

Взяв среднее квадратичное из всех η (кроме октябрьского значения R_{81}^*) находим:

$$R_{81}^* \dots \dots \dots \eta_m = \pm 0^{\circ},0115$$

$$R_{88}^{\odot} \dots \dots \dots \eta_m = \pm 0^{\circ},0113$$

или, в среднем:

$$\eta = \pm 0^{\circ},0114.$$

Так как разность относительных ходов зависит от колебаний δ_1 и δ_2 ходов двух часов и от ошибок ε трех сравнений их показаний, а все трое часов Riefle'a можно считать равноценными, мы можем написать уравнение:

$$2\delta^2 + 4\varepsilon^2 = 13012 \cdot 10^{-8} \dots \dots \dots (34)$$

Полагая, что существование величины η обусловлено или исключительно часами (т.е. $\varepsilon = 0$), или исключительно ошибками в сравнении (т.е. $\delta = 0$), мы находим следующие пределы для δ и ε :

$$0 < |\delta| < 0^{\circ},0081$$

$$0 < |\varepsilon| < 0^{\circ},0057$$

а, предполагая одинаковое влияние обеих причин, находим:

$$\delta = \pm 0^{\circ},0057 \quad \text{и} \quad \varepsilon = \pm 0^{\circ},040.$$

Средняя ошибка ε одного сравнения часов была нами раньше оценена в $0^{\circ},005$, поэтому из (34) получаем:

$$\delta = \pm 0^{\circ},0039.$$

т.е. величину того же порядка.

Для часов B^{\odot} и H_{81}^{\odot} мы находим, принимая для часов R_{81}^{\odot} $\delta = \pm 0^{\circ},0081$ и вес равным 1:

$$\text{для } B^{\odot}: \quad 0^{\circ},019 < |\delta| < 0^{\circ},044$$

$$\text{для } H_{81}^{\odot}: \quad 0^{\circ},038 < |\delta| < 0^{\circ},095$$

и, соответственно, веса в пределах от $1/6$ до $1/30$ для B^{\odot} и от $1/22$ до $1/140$ для H_{81}^{\odot} . т.е. степень доверия к показаниям этих часов ничтожна по сравнению с часами R_{87}^* , R_{88}^{\odot} и R_{81}^* .

§ 20. Предварительные замечания по вопросу о средней температуре часов. При обыкновенных условиях, т.е. при сравнительно медленных изменениях температуры со временем и при малых разностях температуры в часах по высоте, можно, не впадая в чувствительную ошибку, принимать за температуру воздуха и маятника среднее арифметическое из показаний двух или трех термометров, находящихся под колпаком часов, а температурный градиент маятника по высоте считать пропорциональным разности показаний верхнего и нижнего термометров.

В случае же, если температура часов изменяется искусственно, эта температура перестает быть линейной функцией высоты, и вместе с тем разность показаний термометров становится настолько велика, что делает сомнительным приведенное выше простое решение вопроса. Дело тут еще осложняется тем, что трудно предполагать одинаковое распределение температур в воздухе и в маятнике, благодаря значительно лучшей теплопроводности последнего. Однако, для приближенного решения вопроса сделаем это допущение.

Если при часах имеются три термометра, расположенные на равных по высоте расстояниях друг от друга, то закон изменения температуры с высотой можно выразить параболой:

$$T_h = T_0 + xh + yh^2 \dots \dots \dots (35)$$

где h высота, T_0 , x и y — неизвестные нам пока коэффициенты. Будем отсчитывать высоты от середины шарика нижнего термометра и пусть расстояние между нижним и средним, нижним и верхним термометрами суть l и $2l$. Тогда отчеты T_0 , T_1 и T_2 показаний этих термометров (счет их сверху) дадут три уравнения:

$$\begin{aligned} T_1 &= T_0 + 2lx + 4ly \\ T_2 &= T_0 + lx + ly \\ T_2 &= T_0 \end{aligned}$$

Решение этой системы приводит к следующему уравнению искомой параболы:

$$T_h = T_2 + \frac{1}{2l} [3(T_2 - T_0) + (T_2 - T_1)]h + \frac{1}{2l^2} [(T_1 - T_2) + (T_1 - T_2)]h^2 \dots \dots (36)$$

Установим, какая температура T_p определяет величину P формулы (24) для часов с переменной плотностью окружающего воздуха. Эту температуру можно определить из условия, что вес воздуха в объеме маятника при искомой всюду одинаковой температуре T_p должен равняться весу воздуха в том же объеме при действительно существующем распределении температур. Приняв во внимание формулу (35), мы имеем для плотности D_{T_h} воздуха при условиях опыта выражение:

$$D_{T_h} = D_0 (1 - \gamma T_h) = D_0 [1 - \gamma (T_0 + xh + yh^2)] \dots \dots (37)$$

где D_0 — плотность воздуха при 0° , а $\gamma = 1/273$ — коэффициент расширения воздуха.

Объем воздуха в объеме маятника мы можем рассматривать, как сумму объемов трех цилиндров с радиусами: R_1 , R_2 и R_3 (рис. 8) и с основаниями расположенными на высотах h_0 , h_1 , h_2 и h_3 . Так как вес цилиндрического элемента воздуха есть $dG = \pi D_{T_h} R^2 dh$, то, принимая во внимание (37), искомый вес можно выразить формулой:

$$G = \pi D_0 \sum_1^3 R_i^2 \int_{h_{i-1}}^{h_i} (1 - \gamma T_0 - xh - yh^2) dh$$

или, произведя интегрирование:

$$G = \pi D_0 \sum_1^3 R_i^2 \left[(1 - \gamma T_0) (h_i - h_{i-1}) - \frac{x}{2} (h_i^2 - h_{i-1}^2) - \frac{y}{3} (h_i^3 - h_{i-1}^3) \right] \dots \dots \dots (38)$$

где суммирование производится по i .

С другой стороны, по условию тот же вес воздуха при искомой средней плотности должен равняться:

$$G = \pi D_0 \sum_1^3 R_i^2 (h_i - h_{i-1}) (1 - \gamma T_p) \dots \dots \dots (39)$$

Сравнивая правые части уравнений (38) и (39) и производя все упрощения, получаем:

$$\begin{aligned} T_p \sum_1^3 R_i^2 (h_i - h_{i-1}) &= T_0 \sum_1^3 R_i^2 (h_i - h_{i-1}) + \frac{x}{2} \sum_1^3 R_i^2 (h_i^2 - h_{i-1}^2) \\ &+ \frac{y}{3} \sum_1^3 R_i^2 (h_i^3 - h_{i-1}^3) \dots \dots \dots (40) \end{aligned}$$

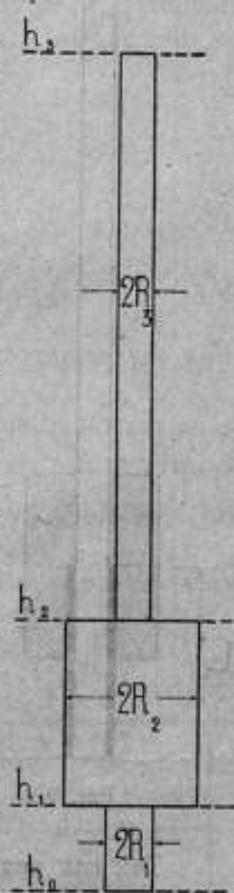


Рис. 8.

Откуда, вводя сокращенные обозначения:

$$A_n = \sum_{i=1}^{i=3} R_i^2 (h_i - h_{i-1}) \dots \dots \dots (41)$$

и, пользуясь выражением (36), находим окончательно:

$$T_p = T_3 + \frac{1}{2l} \frac{A_2}{A_1} [3(T_2 - T_3) + (T_3 - T_1)] + \frac{1}{2l^2} \frac{A_3}{A_1} [(T_3 - T_2) + (T_1 - T_3)] \dots \dots (42)$$

Поставим теперь вопрос, что надо принимать за среднюю температуру маятника и за температурное расслоение при неравномерном распределении температур по высоте. В первом приближении будем предполагать, что маятник, компенсированный по системе Riefler'a, — математический (рис. 9), т. е. инварный стержень длины L_2 с коэффициентом расширения α_2 , и компенсационная трубка длины L_1 с коэффициентом расширения α_1 , лишены массы, а масса цилиндрической гири сосредоточена в точке ее опоры на компенсационную трубку.

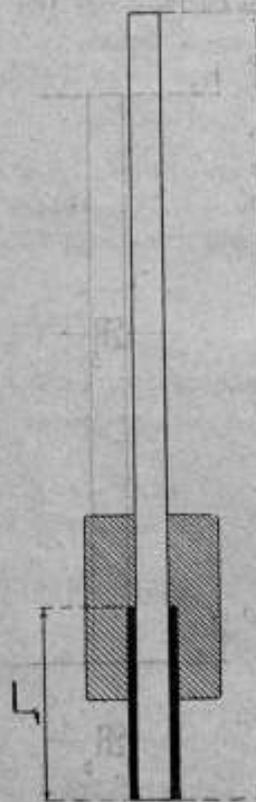


Рис. 9.

Тогда длина математического маятника есть:

$$l = L_2 - L_1 \dots \dots \dots (43)$$

Пусть температура частей маятника меняется по некоторому закону; тогда компенсационная трубка примет длину, отвечающую ее средней температуре θ_1 , а стержень — длину, отвечающую температуре θ_2 , и математический маятник будет иметь длину:

$$l(\tau) = L_2(\theta_2) - L_1(\theta_1)$$

где τ — искомая средняя температура маятника, или:

$$l(\tau) = L_2(1 + \alpha_2 \theta_2) - L_1(1 + \alpha_1 \theta_1) = L_2 - L_1 + \alpha_2 L_2 \theta_2 - \alpha_1 L_1 \theta_1 \dots (44)$$

Прибавляя и отнимая от (44) $L_1 \alpha_1 \theta_2$ и принимая в соображение (43), получим:

$$l(\tau) = l + (\alpha_2 L_2 - \alpha_1 L_1) \theta_2 + \alpha_1 L_1 (\theta_2 - \theta_1) \dots \dots \dots (45)$$

Прибавляя и отнимая от (44) $L_2 \alpha_2 \theta_1$, мы получаем уравнение:

$$l(\tau) = l + (\alpha_2 L_2 - \alpha_1 L_1) \theta_1 + \alpha_2 L_2 (\theta_2 - \theta_1) \dots \dots \dots (46)$$

Так как условие компенсации маятника есть:

$$\frac{dl}{dT} = \frac{dL_2}{dT} - \frac{dL_1}{dT} = 0,$$

или:

$$\alpha_2 L_2 - \alpha_1 L_1 = 0,$$

то мы видим, что второй член правой части уравнений (45) и (46) учитывает неточность компенсации, т. е. учитывает влияние температурного коэффициента маятника, причем он пропорционален в первом случае средней температуре стержня, а во втором — средней температуре компенсационной трубки, третий же член учитывает влияние неодинаковости температур различных частей маятника, иначе говоря, влияние так называемого коэффициента температурного расслоения, причем он пропорционален разности средних температур стержня и компенсационной трубки.

Сопоставляя (45) и (46) мы можем сказать: 1) что маятник имеет два различных коэффициента температурного расслоения, в зависимости от того, как мы определяли среднюю температуру маятника, т. е. берем ли за нее θ_1 или θ_2 ; 2) оба этих коэффициента становятся равными друг другу, если маятник идеально компенсирован; 3) коэффициент температурного расслоения есть следствие компенсации, т. е. некомпенсированный маятник не имеет коэффициента температурного расслоения. Разумеется, эти выводы вполне справедливы лишь для математического маятника, к случаю же физического маятника их можно применять лишь в качестве первого приближения.

§ 21. Исследование температурных коэффициентов часов на основании относительных ходов. Исследованию подвергались часы R_{81}^* , находившиеся в то время в подвале 2. Нагреванием этого помещения было вызвано искусственное колебание температуры в довольно значительных пределах. Часы R_{81}^* сравнивались с часами R_{82}^* , температура которых оставалась почти постоянной. Законченный цикл температур получен лишь в одном случае, ибо наблюдения были прерваны остановкой часов R_{81}^* . Средняя температура T_p воздуха, средняя температура T_m стержня маятника и средняя температура T_k компенсационной трубки были вычислены по следующим формулам, вытекающим из формул (36), (42) и (45):

$$\left. \begin{aligned} T_p &= T_2 + 0,470(T_2 - T_3) + 0,008(T_1 - T_2) = \\ &= \frac{1}{2}(T_2 + T_3) - \frac{3}{100}(T_2 - T_3) + \frac{1}{125}(T_1 - T_2) \\ T_m &= T_1 - 0,179(T_1 - T_3) - 0,374(T_1 - T_2) = \\ &= T_3 + 0,821(T_2 - T_3) + 0,447(T_1 - T_2) \\ T_k &= T_2 + 0,196(T_2 - T_3) - 0,056(T_1 - T_2) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (47)$$

Первоначально было принято, что $T_k = T_3$; влияние этой неточности мы учитываем дальше.

Всего были использованы три серии наблюдений. Относительные ходы часов R_{81}^* были приведены к $P = 750$ мм, пользуясь коэффициентом плотности $\beta = +0,01746$, и исправлены за изменения хода часов R_{81}^* согласно формуле хода (21).

Первая серия наблюдений с 20 по 29 октября 1921 г. привела к результатам указанным в таблице IX.

Т а б л и ц а IX.

1921 г. Октябрь.	T_m	$T_m - T_3$	Наблюдаемые относительные ходы R_{81}^* при $P = 750$ мм.	Вычисленные ходы.	Δ наблюд. — вычисл.
20/21	+ 12,40	+ 0,02	- 0,066	- 0,060	- 0,006
21/22	12,35	0,02	- 0,036	- 0,061	+ 0,025
22/23	12,29	0,02	- 0,049	- 0,063	+ 0,014
23/24	12,20	0,01	- 0,090	- 0,066	- 0,024
24/25	12,12	0,01	- 0,077	- 0,068	- 0,009
25/26	16,66	2,82	+ 0,314	+ 0,310	+ 0,004
26/27	20,83	3,06	+ 0,422	+ 0,435	- 0,013
27/28	22,33	3,29	+ 0,498	+ 0,494	+ 0,004
28/29	23,60	3,37	+ 0,536	+ 0,532	+ 0,004

Ход был представлен формулой:

$$g = g_0 + \alpha (T_m - 16^\circ) + \beta (T_m - T_3).$$

Применение способа наименьших квадратов приводит к следующим нормальным уравнениям:

$$\begin{aligned} 9,0000x + 0,7800y + 12,6200z - 14,5200 &= 0 \\ + 191,1344y + 62,7827z - 106,6299 &= 0 \\ + 39,4984z - 56,1685 &= 0 \end{aligned}$$

где $x = 10g_0$, $y = 10\alpha$, $z = 10\theta'$.

Их решение дает:

$$\left. \begin{aligned} g &= +0,0265 + 0,0245(T_m - 16^\circ) + 0,0948(T_m - T_3) \\ \text{Средние ошибки: } \pm 0,0179 \pm 0,0042 & \quad \pm 0,0124 \\ \text{Средняя ошибка единицы веса: } \eta &= \pm 0,0170. \end{aligned} \right\} \dots \dots (48)$$

Вторая серия наблюдений с 25 ноября по 8 декабря 1921 г. привела к результатам, указанным в таблице X.

Т а б л и ц а X.

1921 г. Ноябрь Декабрь.	T_m	$T_m - T_3$	Наблюден- ные ходы при $P = 750$ мм.	Вычислен- ные ходы.	Δ наблюд. — вычисл.	Примечание.
XI 25/26	+ 13,58	+ 0,05	+ 0,059	+ 0,073	- 0,014	Ходы 26/27 и 29/30 XI выпущены, ибо быстрые изменения температуры не позволяли с достаточной точностью вывести средние T_m .
27/28	22,24	3,27	624	608	+ 16	
28/29	23,37	3,22	621	638	- 17	
XII 0/1	16,85	0,36	208	198	+ 10	
1/2	15,76	0,19	158	151	+ 07	
2/3	14,97	0,12	126	121	+ 05	
3/4	14,36	0,09	100	100	00	
4/5	13,79	0,07	057	081	- 24	
5/6	13,27	0,06	065	065	00	
6/7	12,84	0,05	061	051	+ 10	
7/8	12,56	0,05	051	042	+ 09	

Ход был представлен формулой:

$$g = g_0 + \alpha (T_m - 20^\circ) + \theta' (T_m - T_3).$$

Нормальные уравнения для данной серии наблюдений имеют вид:

$$\begin{aligned} 11,0000x - 46,4100y + 7,5300z - 21,3000 &= 0 \\ + 333,0777y + 13,2359z + 10,1877 &= 0 \\ - 21,2655z - 41,8556 &= 0 \end{aligned}$$

где x , y и z имеют прежние значения. Их решение дает:

$$\left. \begin{aligned} g &= +0,2629 + 0,0302(T_m - 20^\circ) + 0,0849(T_m - T_3) \\ \text{Средние ошибки: } \pm 0,0269 \pm 0,0042 & \quad \pm 0,0126 \\ \text{Средняя ошибка единицы веса: } \eta &= \pm 0,0146 \end{aligned} \right\} \dots \dots (49)$$

Наконец, третья серия наблюдений с 11 по 21 февраля 1922 г. дала результаты, указанные в таблице XI.

Таблица XI.

1922 г. Февраль.	T_m	$T_m - T_2$	Наблюденные ходы при $R = 750$ мм.	Вычисленные ходы.	Δ наблюд. — вычисл.	Примечание.
11/12	+ 8,05	+ 0,00	+ 0,024	+ 0,028	- 0,004	Ходы 14/15 и 16/17 выпущены по той же причине, что и в предыдущем случае.
12/13	7,98	0,00	017	026	- 09	
13/14	7,99	0,01	030	027	+ 03	
15/16	17,12	3,04	615	614	+ 01	
17/18	11,83	0,47	172	185	- 13	
18/19	10,53	0,24	116	123	- 07	
19/20	10,22	0,18	112	108	+ 04	
20/21	9,96	0,14	120	096	+ 24	

Ход был представлен формулой:

$$g = y_0 + \alpha (T_m - t_2^*) + \psi (T_m - T_2).$$

Соответствующие нормальные уравнения суть:

$$\begin{aligned} 8,0000 x - 12,3200 y + 4,0800 z - 12,0600 &= 0 \\ + 83,5772 y + 14,4860 z - 22,2144 &= 0 \\ + 9,5722 z - 20,1554 &= 0 \end{aligned}$$

Откуда мы находим:

$$\left. \begin{aligned} g &= 0,1378 + 0,0279 (T_m - t_2^*) + 0,1096 (T_m - T_2) \\ \text{Средние ошибки: } \pm 0,0160 \pm 0,0051 & \quad \pm 0,0150 \\ \text{Средняя ошибка единицы веса: } \eta &= \pm 0,0135 \end{aligned} \right\} \dots (50)$$

Как это уже упоминалось раньше, было принято, что температура компенсационной трубки равнялась T_2 — показанию нижнего термометра. На самом же деле, это не так, как показывает формула (47); замечая, что третий член формулы хода может быть написан в следующем виде:

$$\psi (T_m - T_2) = \theta' \frac{T_m - T_2}{T_m - T_k} (T_m - T_k),$$

получаем выражение для правильного коэффициента:

$$\theta'' = \theta' \frac{T_m - T_2}{T_m - T_k} = \theta' \lambda \dots \dots \dots (51)$$

Из формулы (47) находим:

$$\lambda = \frac{0,821 (T_2 - T_3) + 0,447 (T_1 - T_2)}{0,625 (T_2 - T_2) + 0,503 (T_1 - T_2)}$$

или:

$$\lambda = 1,3126 \frac{1 + 0,5445 k}{1 + 0,8048 k}$$

где:

$$k = \frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_3}$$

(48)

ре-

и

е

(49)

Для трех серий наблюдений было найдено соответственно: $k_1 = 1,38$, $k_2 = 1,18$, $k_3 = 0,916$, и, следовательно: $\lambda_1 = 1,090$, $\lambda_2 = 1,107$, $\lambda_3 = 1,133$.

Умножая θ' на соответственные λ , получаем следующую таблицу XII значения для θ'' .

Т а б л и ц а XII.

№№ серий.	θ''	Средняя ошибка θ''	В е с.	Средняя ошибка единицы веса.
I	+ 0,1033	$\pm 0,0135$	3	$\theta = \pm 0,0235$
II	0940	139	3	
III	1242	170	2	
Средний вывод . .	+ 0,1050	$\pm 0,0084$	8	

При постоянном температурном градиенте в часах по высоте, который мы имеем в Главной Палате при естественных условиях, коэффициент θ'' можно рассматривать, как изменение хода, вызываемое изменением на 1° разности температур средин инварного стержня и средин компенсационной трубки. Для пользования же удобнее коэффициент, пропорциональный разности показаний верхнего (T_1) и нижнего (T_2) термометров (обычно называемый коэффициентом температурного расслоения). Обозначая этот коэффициент через θ и имея в виду, что расстояние средин стержня и трубки равно 488,5 мм, а расстояние между термометрами—866 мм, находим:

$$\theta = \frac{488,5}{866} \theta'' = 0,564 \theta''$$

и, следовательно:

$$\theta = + 0,0592 \pm 0,0047.$$

Заметим, что это значение близко подходит к коэффициенту:

$$\frac{36,8}{866} = 0,0425.$$

выведенному Wapach'ом¹⁾ на основании теоретических соображений для маятника Riefler'a такого же устройства и при том же расстоянии 866 мм. между термометрами.

Аналогичный же метод исследования был применен при обработке относительных ходов часов $R_{\text{ст}}^{\odot} / R_{\text{ст}}^*$. Так как эти часы установлены рядом и температуры их практически (до $0^\circ,02$) совпадают, то относительные ходы дают материал для получения разности температурных коэффициентов этих часов; таким образом было найдено:

$$\alpha_{\text{ст}} - \alpha_{\text{ст}} = - 0,0278 \pm 0,0109$$

и так как вероятнейшее значение $\alpha_{\text{ст}}$, согласно формулы (21), есть:

$$\alpha_{\text{ст}} = + 0,0406 \pm 0,0118 \text{ } ^2)$$

то:

$$\alpha_{\text{ст}} = + 0,0128 \pm 0,0160 \dots \dots \dots (52).$$

¹⁾ В. Wapach. Über den Einfluss der Temperaturschichtung auf verschiedene Uhrenpendel. A. N. 166 p. 113.

²⁾ Средняя ошибка результата увеличена вдвое по сравнению с вычисленной на основании примечания таблицы XVI.

Тот же метод, в приложении к исследованию среднего хронометра Ericson № 959, дал также хорошие результаты.

Обработке подвергались 5-дневные средние относительные ходы, определенные двумя наблюдателями. Результаты наблюдений приводятся в таблице XIII.

Таблица XIII.

№№ средних ходов.	Средний момент 1922 г.	Средняя температура T_m	Наблюденные ходы.	
			Наблюдатель А.	Наблюдатель В.
1	II. 15,0	+ 10,46	- 1,55	- 1,53
2	20,0	13,74	- 1,31	- 1,32
3	25,0	14,76	- 1,16	- 1,13
4	III. 2,0	16,66	- 1,12	- 1,13
5	7,0	16,64	- 1,14	- 1,15
6	12,7	16,46	- 1,23	- 1,22
7	18,5	14,42	- 1,34	- 1,35
8	24,0	13,46	- 1,54	- 1,54
9	29,0	13,22	-	- 1,59

Ход был представлен формулой:

$$g = g_0 + a (T_m - 15^\circ) + \tau (t - \text{II. } 15,0) \quad ^1)$$

где a — температурный коэффициент, а τ — коэффициент пропорциональный времени. Решение привело к следующим значениям коэффициентов:

Наблюдатель А:

$$g = -1,148 + 0,0846 (T_m - 15^\circ) - 0,00638 (t - \text{II. } 15,0)$$

$$\text{Средние ошибки: } \pm 0,035 \pm 0,0008 \quad \pm 0,00158$$

Наблюдатель В:

$$g = -1,136 + 0,0836 (T_m - 15^\circ) - 0,00702 (t - \text{II. } 15,0)$$

$$\text{Средние ошибки: } \pm 0,034 \pm 0,0094 \quad \pm 0,00131$$

за окончательный результат принято среднее:

$$a = +0,0841 \pm 0,0088$$

$$\tau = -0,0067 \pm 0,0010.$$

Вариация хода хронометра, т. е. среднее квадратичное отклонение от среднего хода, определилась равной $\pm 0,13$, что указывает на хорошие качества прибора.

¹⁾ Введение члена, зависящего от квадрата температуры, оказалось излишним, ибо он определялся с весьма малой степенью точности.

Глава V. Исследование часов за 1923 г.

§ 22. Влияние плотности воздуха на ход часов и на амплитуду маятника. Способ определения этих коэффициентов сохранен прежний, т. е. обрабатывались разности средних барометрических давлений и относительных ходов и разности непосредственно отчитанных давлений и амплитуд. Полученные таким образом барометрические коэффициенты хода и амплитуды обращались, с помощью дифференциальных формул (25) и (26) в соответственные коэффициенты плотности. Результаты приведены в таблицах XIV и XV.¹⁾

Таблица XIV.

Влияние плотности на ход.				
Период определения.	β	$\epsilon\beta \times 10^5$	T_β	В е с.
ЧАСЫ R_{88}^{\odot}				
1922 г. октябрь — декабрь	+ 0,01586	± 47	+ 14,54	8
1923 г. февраль — апрель	1580	± 31	17,07	3 ^{1/4}
1923 г. май — декабрь	1539	± 16	15,19	16 ^{1/2}
Барометрич. коэффиц. (средний)	+ 0,01558	± 15	+ 15,22	27 ^{3/4}
Редукция к коэффиц. плотности	- 4			
Коэффициент плотности	+ 0,01554	± 15	+ 16,00 ²⁾	
ЧАСЫ R_{81}^*				
1922 г. июль — декабрь	+ 0,01751	± 24	+ 13,33	35
1923 г. февраль — апрель	1754	± 40	16,91	9 ^{1/2}
1923 г. май — декабрь	1756	± 13	14,80	74
Барометрич. коэффиц. (средний)	+ 0,01754	± 12	+ 14,54	118 ^{1/2}
Редукция к коэффиц. плотности	- 9			
Коэффициент плотности	+ 0,01745	± 12	+ 16,00	
ЧАСЫ М. Ф. \odot				
1922 г. декабрь — 1923 г. апрель	+ 0,01232	± 85	+ 14,8	15
1923 г. май — декабрь	1211	± 71	+ 14,2	28
Барометрич. коэффиц. (средний)	+ 0,01219	± 55	+ 14,4	43
Редукция к коэф. плотности	- 7			
Коэффициент плотности	+ 0,01212	± 55	+ 16,0	

¹⁾ Так как плотность воздуха под колпаком R_{88}^{\odot} менялась лишь незначительно вследствие течи колпака, то для определения коэффициента плотности был применен особый прием, результаты которого излагаются в следующем § 23.

²⁾ Величины P вычисляются для 16°.

Таблица XV 1).

Влияние плотности на амплитуду.				
Период определения.	$\frac{dA}{dH}$	$\varepsilon \times 10^4$	T_m	В. в. в.
ЧАСЫ R_{05}^{\odot}				
1921 г. и декабрь 1922 г.	-0,0314	± 112	+ 14,77	1
1922 г. октябрь	278	44	16,52	6
ноябрь	297	33	14,38	11
1923 г. март	224	93	17,50	1
апрель	386	66	16,84	3
май	297	58	15,54	4
июнь	207	59	14,48	4
июль	181	73	14,70	2
август	389	62	15,16	3
сентябрь	469	69	14,83	2
октябрь	209	60	14,55	4
ноябрь	348	35	15,22	10
декабрь	267	86	16,00	2
Влияние барометрич. давления	- 0,0301	± 19	+ 15,00	53
Редукция к коэффиц. плотности	+ 1			
Коэффиц. плотности для амплитуды	- 0,0300*	± 19	+ 16,00	
ЧАСЫ R_{01}^*				
1921 г. январь — декабрь	- 0,0246	± 22	+ 12,42	8
1922 г. январь — апрель	218	62	8,72	1
май — сентябрь	174	38	13,88	3
октябрь	253	40	12,53	2
ноябрь	188	21	12,55	9
декабрь	226	26	13,59	6
Влияние барометрич. давления	- 0,0216	± 13	+ 12,73	29
Редукция к коэффиц. плотности	+ 3			
Коэффиц. плотности для амплитуды	- 0,0213	± 13	+ 16,00	

§ 23. Влияние температуры на ход часов и на амплитуду маятника. При выводе этих коэффициентов всюду применен метод В. Wapash'a, описанный в § 18, с тем лишь отличием, что уравнивались разности не непосредственно наблюдаемых ходов, а разности средних трех или пятидневных абсолютных ходов, полученных на основании поправок R_{01}^* , интерполированных указанным в следующей главе VI способом. Из обработки трехдневных абсолютных ходов часов R_{01}^* найдено:

$$\alpha_{01} = + 0,0240 \pm 0,0112.$$

1) С целью увеличения материала были также использованы наблюдения 1921 и 1922 гг. У часов R_{01}^* амплитуда в 1923 г. не отчитывалась.

Из пятидневных абсолютных ходов часов R_{22}^{\odot} , исправленных на влияние плотности, найдено:

$$a_{22} = +0,0294 \pm 0,0104.$$

Из пятидневных относительных ходов часов R_{22}^*/R_{27}^* , исправленных на влияние плотности, найдено:

$$a_{22} - a_{27} = +0,0077 \pm 0,0124.$$

Решение этих трех уравнений с двумя неизвестными по способу наименьших квадратов дает окончательные для 1923 года результаты:

$$\left. \begin{aligned} a_{27} &= +0,0232 \pm 0,0112 \\ a_{22} &= +0,0302 \pm 0,0104. \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (53)$$

При выводе температурного коэффициента для R_{21}^* (из пятидневных абсолютных, исправленных на влияние плотности, ходов) пришлось сначала учесть пропорциональное времени суточное изменение хода; оно было найдено равным:

$$\frac{dg}{dt} = -0,00069 \pm 0,00050.$$

Приведя затем на основании этой формулы ходы к одному моменту, находим для температурного коэффициента часов R_{21}^* :

$$a_{21} = +0,0277 \pm 0,0148 \dots \dots \dots (54)$$

В таблице XVI дается сводка всех определений температурных коэффициентов этих часов.

Т а б л и ц а XVI.

Период	Способ определения	α	$\varepsilon \times 10^4$	Вес ¹⁾
ЧАСЫ R_{27}^*				
1921 г. XI — 1922 г. XII	Выравнивание ходов, формула (21)	$+0,0406$	± 59	1
1922 г. X — 1923 г. III	Выравнивание поправок, формула (61)	$+ 417$	± 10	1
1923 г. III — 1923 г. XII	Выравнивание разностей ходов, формула (53)	$+ 232$	± 112	1
Средний вывод: $\alpha = +0,0352 \pm 60$.				

¹⁾ Чтобы ослабить влияние систематических ошибок в двух первых значениях α , всем трем значениям приданы равные веса, что соответствует увеличению средних ошибок в первом случае в 2 раза а во втором — в 11 раз.

Таблица XVI (продолжение).

Период	Способ определения	α	$\varepsilon \times 10^4$	Вес
ЧАСЫ R_{80}^{\odot}				
1921 г. XI — 1922 г. X	Выравнивание разностей относительных ходов, формула (52)	$+0,0128$	± 160	2
1923 г. III — 1923 г. XII	Выравнивание разностей абсолютных ходов, формула (53)	302	± 104	5
Средний вывод: $\alpha = +0,0252 \pm 88$.				
ЧАСЫ R_{81}^*				
1921 г. 20.X — 29.X	Выравнивание относительных ходов, формула (48)	$+0,0245$	± 42	12
1921 г. 27.XI — 10.XII	Выравнивание относительных ходов, формула (49)	302	± 42	12
1922 г. 12.II — 21.II	Выравнивание относительных ходов, формула (50)	279	± 51	8
1923 г. III — XII	Выравнивание разностей абсолютных ходов, формула (54)	277	± 148	1
Средний вывод: $\alpha = +0,0275 \pm 26$.				

Что касается часов R_{80}^{\odot} , то для них оказалось невозможным раздельное определение температурного коэффициента и коэффициента плотности, ввиду малых изменений плотности. Поэтому, с целью уменьшения систематических ошибок выводов, был применен следующий способ: каждые 6 абсолютных пятидневных ходов выражались формулой:

$$g = g_0 + \beta (P - 710) + \alpha (T - 16^\circ)$$

и при решении нормальных уравнений разыскивалось выражение β в функции от α , т.е.:

$$\beta = k_1 \alpha + k_2$$

Таким образом были получены следующие девять условных уравнений:

1923 Апрель	$\beta' - 1,352 \alpha' - 0,324 = 0$	Вес ¹⁾ 15
Май	$\beta' - 2,138 \alpha' - 1,992 = 0$	15
Июнь	$\beta' - 0,799 \alpha' - 2,544 = 0$	15
Июль	$\beta' - 3,228 \alpha' - 2,071 = 0$	8
Август	$\beta' - 0,673 \alpha' - 1,362 = 0$	2
Сентябрь	$\beta' - 3,618 \alpha' - 2,426 = 0$	1
Октябрь	$\beta' - 0,586 \alpha' - 1,189 = 0$	2
Ноябрь	$\beta' - 2,931 \alpha' - 0,390 = 0$	1
Декабрь	$\beta' - 8,411 \alpha' - 2,417 = 0$	1

где $\beta' = 100 \beta$, $\alpha' = 100 \alpha$.

¹⁾ Вес придан, сообразуясь с величиной изменения плотности воздуха под знаком.

Они приводят к следующим нормальным уравнениям:

$$55\beta' - 49,3250\alpha' - 89,4480 = 0 \\ + 230,6646\alpha' + 71,0814 = 0$$

решая которые, получаем:

$$\beta = +0,0167 \pm 0,0038, \quad \alpha = +0,0005 \pm 0,0018 \quad \dots \quad (55)$$

Переходя к нахождению зависимости амплитуды от температуры, заметим, что эта зависимость труднее всего определяется. Приведенные в таблице XVII результаты можно рассматривать, как первое приближение. Эти результаты получены путем обработки температур и разностей между непосредственно наблюдаемыми отчетами амплитуд или отчетами, исправленными на влияние плотности.

Достоверные значения можно получить или обработкой материала за большое число лет или, что еще лучше, постановкой соответствующих опытов.

Т а б л и ц а XVII.

Период определения.	$\frac{dA}{dT}$	\pm	В е с.	Средняя величина амплитуды.
ЧАСЫ R_{07}^*				
1921 г.	- 0,243	$\pm 0,234$	15	80,5
1922 г.	- 0,351	$\pm 0,184$	24	80,5
1923 г.	- 0,368	$\pm 0,178$	26	80,5
$\frac{dA}{dT} = -0,35 \pm 0,11$				
ЧАСЫ R_{08}^{\odot}				
1921 г. — 1922 г. (до ремонта)	- 0,31	$\pm 0,14$	1	82,4
1923 г. (после ремонта)	- 0,07	$\pm 0,15$	1	89,6
$\frac{dA}{dT} = +0,07 + 0,051 (A_m - 89,6)^1$ $\pm 0,15 \pm 0,028$				
ЧАСЫ R_{01}^*				
1921 г. — 1922 г. (при естественных условиях)	+ 0,014	$\pm 0,090$	2	88,0
1921 г. — 1922 г. (из опытов с подогреванием)	+ 0,055	$\pm 0,027$	23	88,0
$\frac{dA}{dT} = +0,052 \pm 0,026$				
ЧАСЫ R_{06}^{\odot}				
1923 г. III — XII	- 0,55	$\pm 0,31$	—	—
$\frac{dA}{dT} = -0,55 \pm 0,31$				

¹⁾ Если предположить, что величина коэффициента зависит от величины амплитуды.

По исправлении амплитуд часов R_{98}^{\odot} на влияние температуры, с помощью указанного в таблице XVII коэффициента, находим влияние плотности на амплитуду:

$$\frac{dA}{dP} = + 0,077 \pm 0,064 \dots \dots \dots (56)$$

Из всех этих результатов наиболее достоверными являются данные для часов R_{91}^* , наименее достоверными — для часов R_{98}^{\odot} .

§ 24. Влияние амплитуды на ход часов. При определении зависимости между амплитудой маятника и ходом по прежнему применен способ В. Wapach'a, при чем получены следующие результаты.

Часы R_{91}^* . Абсолютные пятидневные ходы предварительно исправлены за температуру. Амплитуды не исправлялись за температуру, так как исследования показали, что необходимо отыскивать зависимость между непосредственно отчитанной амплитудой и ходом, хотя это противоречит положению, что температурный коэффициент хода должен учитывать и влияние амплитуды, пропорциональное температуре ¹⁾.

Вычисление дает:

$$\frac{dg_{(16)^*}}{dA} = + 0,0212 \pm 0,0040 \quad \text{на } 1' \text{ при } A_m = 81'.$$

Часы R_{98}^{\odot} . Как ходы, так и амплитуды были предварительно исправлены за плотность воздуха и температуру; получено:

$$\frac{dg_{(755)}}{dA_{(755;16^*)}} = + 0,0548 \pm 0,0165 \quad \text{на } 1' \text{ при } A_m = 89'.$$

Часы R_{98}^{\odot} . Ходы исправлены за плотность, амплитуды за температуру и плотность; вычисление дает:

$$\frac{dg_{(710)}}{dA_{(710;16^*)}} = + 0,0139 \pm 0,0040 \quad \text{на } 1' \text{ при } A_m = 92'.$$

§ 25. Вариации ходов часов. Для оценки качеств часов определялись, во-первых, случайные колебания (разности) δ_i суточных ходов, выведенные из i дней по следующим формулам, данным Wapach'ом:

$$\left. \begin{aligned} \delta_i &= \sqrt{\frac{\Sigma \Delta g \Delta g}{n} - 6 \left(\frac{\varepsilon_n}{i}\right)^2} \\ \delta_{i, \text{red}} &= \sqrt{\frac{\Sigma \Delta g_{\text{red}} \Delta g_{\text{red}}}{n-r} - 6 \left(\frac{\varepsilon_n}{i}\right)^2} \\ \delta_i &= \delta_i \sqrt{\frac{3i}{1+2i^2}} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (57)$$

где Δg и Δg_{red} — соответственно, разности ходов часов, наблюдаемых и исправленных на влияние различных факторов при помощи некоторого числа r коэффициентов, n — число разностей ходов, ε_n — средняя ошибка поправки часов, i — средний промежуток времени между моментами звездных наблюдений

¹⁾ Лучшим критерием наибольшей вероятности какой-либо формулы хода мы считаем одновременное обращение в минимум среднего случайного колебания δ_i хода и среднего отклонения V_j наблюдаемого хода от среднего хода.

Во-вторых, определялось среднее (квадратичное) уклонение V_j^i отдельных наблюдаемых за промежуток в i суток ходов от среднего хода за некоторый промежуток j суток по формуле (пренебрегая ошибками поправок):

$$V_j^i = \sqrt{\frac{\sum V^2}{n-r}} \dots \dots \dots (58)$$

где V_j^i — уклонения отдельных ходов от среднего, n — число уклонений, r — число коэффициентов; либо (в большинстве случаев) по формуле:

$$V_j^i = 1,25 \frac{\sum |V|}{n(n-1)}$$

При вычислении везде принято $r=1$, в виду того, что коэффициенты выведены из более обширного материала, чем вариации.

Средняя ошибка интерполированных поправок, положенных в основание исследований часов, была определена следующим путем.

Пятидневное среднее случайное колебание (вариация) относительных ходов часов R_{67}^* и R_{68}^\odot дает уравнение (пренебрегая ошибками сравнений часов):

$$\delta_{(5;67)}^2 + \delta_{(5;68)}^2 = 220 \times 10^{-6}$$

Пятидневная вариация абсолютных ходов R_{68}^\odot дает:

$$\delta_{(5;68)}^2 + \frac{6}{25} \varepsilon^2 = 148 \times 10^{-6}$$

Трехдневная вариация абсолютных ходов R_{67}^* дает:

$$\delta_{(3;67)}^2 + \frac{6}{9} \varepsilon^2 = 70 \times 10^{-6}$$

Приводя по 3-ей формуле (57) все эти вариации к однодневным вариациям, получаем систему уравнений:

$$\begin{aligned} \delta_{(67)}^2 + \delta_{(68)}^2 &= 65 \times 10^{-6} \\ \delta_{(68)}^2 + 0,071 \varepsilon^2 &= 44 \times 10^{-6} \\ \delta_{(67)}^2 + 0,316 \varepsilon^2 &= 33 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

решая которую, находим:

$$\varepsilon^2 = 31 \times 10^{-6},$$

откуда средняя ошибка интерполированной по 4-м часам поправки:

$$\varepsilon = \pm 0,006.$$

Это значение и вводилось в формулу (57).

Таким образом было найдено:

Часы R_{67}^* . Для вывода вариации δ_i взяты трехдневные ходы с 1923. III. 0,5 по 1923. XII 31,5 (всего около 300^д), для вывода среднего уклонения хода V_j^i — с 1922. XII. 0,5 по 1923. XII 31,5:

а) ходы не исправлены на влияние ни одного из факторов:

$$\delta_2 = \pm 0,007; \delta_1 = \pm 0,005;$$

б) ходы исправлены на влияние температуры:

$$\delta_2 = \pm 0,007; \delta_1 = \pm 0,005; V_{400}^* = \pm 0,023;$$

в) ходы исправлены на влияние температуры и амплитуды:

$$\delta_2 = \pm 0,006; \delta_1 = \pm 0,005; V_{400}^* = \pm 0,018;$$

Часы R_{28}^{\odot} , δ_1 и V_j^2 определялись из пятидневных ходов за период с 1923. III. 0,5 по 1923. XII. 31,5:

а) ходы исправлены на влияние плотности:

$$\delta_2 = \pm 0,012; \quad \delta_1 = \pm 0,007; \quad V_{300}^2 = \pm 0,026;$$

б) ходы исправлены на влияние плотности и температуры:

$$\delta_2 = \pm 0,012; \quad \delta_1 = \pm 0,006; \quad V_{300}^2 = \pm 0,026;$$

в) ходы исправлены на влияние плотности, температуры и амплитуды:

$$\delta_2 = \pm 0,010; \quad \delta_1 = \pm 0,005; \quad V_{300}^2 = \pm 0,023.$$

Часы R_{21}^* , δ_1 определялось за тот же период, как и для часов R_{28}^{\odot} , из пятидневных ходов, исправленных на влияние плотности, времени и температуры:

$$\delta_2 = \pm 0,019; \quad \delta_1 = \pm 0,010.$$

Часы R_{27}^{\odot} , δ_1 определялись за период с 1923. IV. 0,5 по 1923. XII. 31,5:

а) неисправленные ходы дали:

$$\delta_2 = \pm 0,015; \quad \delta_1 = \pm 0,008;$$

б) исправленные на влияние плотности:

$$\delta_2 = \pm 0,013; \quad \delta_1 = \pm 0,007; \quad V_{270}^2 = \pm 0,033;$$

в) исправленные на влияние амплитуды:

$$\delta_2 = \pm 0,012; \quad \delta_1 = \pm 0,006; \quad V_{270}^2 = \pm 0,030$$

Для сравнения качеств часов Главной Палаты с часами других учреждений замечу, что одни из наилучших результатов были получены для часов Riefler № 23 и № 33 Мюнхенской Обсерватории, ¹⁾ а именно:

$$R_{23}: \quad \delta_1 = \pm 0,004 \text{ (ходы исправлены за время и температуру)}$$

$$R_{33}: \quad \delta_1 = \pm 0,006 \text{ (ходы исправлены за температуру и амплитуду)}$$

Таким образом, по крайней мере трое часов Главной Палаты: R_{27}^* , R_{28}^{\odot} и R_{28}^{\odot} не уступают им по своим достоинствам; что же касается часов R_{21}^* , то большее значение вариации δ можно отнести на счет более плохой установки (временной), не позволявшей к тому же следить за амплитудой маятника. Для полноты исследования добавим, что температурное расслоение менялось в течении года лишь в пределах от 0,08 до 0,27, что заставило отказаться от исследования влияния этого фактора.

Глава VI. Интерполяция поправок часов за период декабрь 1922—декабрь 1923 г.

§ 26. Предварительные замечания. В рассматриваемом периоде всего было определено 70 поправок часов по наблюдениям 797 звезд времени и 224 близполюсных. Наблюдения производились Н. Х. Прейпичем (сокращенно: П.) и Б. И. Раком (сокращенно: Р.).

Наблюдатель П. определил 55 поправок из наблюдений 652 звезд времени и 172 близполюсных; наблюдатель Р. определил 15 поправок из наблюдений 145 звезд времени и 52 близполюсных звезд.

¹⁾ Н. Kienle. Die beiden Riefler-Uhren R_{23} und R_{33} der Münchener Sternwarte. Astr. Nachr. B. 204, p. 281—294.

В этом периоде резко разграничиваются две части: до 22 II. 1923 г. наблюдения производились при помощи клавиши, а из нормальных часов были в ходу только R_{87}^* . В то же время в часовом подвале производились в течении месяца (с конца декабря 1922 г. до конца января 1923 г.) строительные работы по подготовке места для часов R_{88}^{\odot} . С 22 II. 1923 г. наблюдения производились при помощи саморегистрирующего микрометра и были пущены в ход, после ремонта и чистки, нормальные часы R_{88}^{\odot} , R_{81}^* и наконец R_{88}^{\odot} .

Для того, чтобы сделать результаты определений времени сравнимыми, было определено личное уравнение (Микрометр — Клавиша) для наблюдателя П. Программа наблюдений состояла из двух серий: в первой серии две крайних поправки определялись при помощи саморегистрирующего микрометра, а промежуточная — клавишей, а во второй серии — наоборот. Результаты приведены в таблице XVIII.

Т а б л и ц а XVIII.

Среднее гражданское местное время.	Способ наблюдения.	Поправка R_{87}^*	Поправка R_{88}^{\odot}	Личное уравнение [СМ — К]		
				по R_{87}^*	по R_{88}^{\odot}	Среднее.
1923 г.						
1-ая серия:						
V. 8,911	Самор. микр.	+ 24,921	+ 21,462	+ 0,085	+ 0,086	+ 0,086
9,019	Клавиша	24,848	21,383			
9,099	Самор. микр.	24,942	21,474			
2-ая серия:						
V. 15,915	Клавиша	+ 25,405	+ 21,500	+ 0,082	+ 0,100	+ 0,091
16,993	Самор. микр.	25,608	21,679			
17,073	Клавиша	25,560	21,630			
Среднее				+ 0,084	+ 0,093	+ 0,088

Принято среднее значение:

$$[СМ - К] = + 0,088 \dots \dots \dots (59)$$

Исследование всего материала наблюдений в 1923 г., произведенное в целях оценки точности определений поправок часов, привело к следующим результатам.

Сравнение азимутов, определенных из верхней (a_p) и нижней (a_{sp}) кульминаций близполюсных звезд, показало существование значительной разности между этими азимутами для обоих наблюдателей П. и Р. Южный же азимут (a_s), определенный из звезд времени, и азимут a_p оказались практически тождественными, как это видно из таблицы XIX.

В этой таблице: ε_1 — средняя ошибка одного определения систематической разности азимутов, а ε_m — средняя ошибка результата.

Таблица XIX.

Способ наблюдения.	Число ве- черов.	$a_p - a_{sp}$			$a_p - a_s$			$a_N - a_s$		
		ϵ_m	ϵ_1	ϵ_2	ϵ_m	ϵ_1	ϵ_2	ϵ_m	ϵ_1	ϵ_2
Наблюдатель П.										
Клавиша	7	$-0,181 \pm 0,031$	$\pm 0,081$	$\pm 0,015$	$\pm 0,041$	$\pm 0,108$				
Микрометр, ²⁾ пара нитей	23	$-0,171 \pm 0,014$	$\pm 0,059$	$-0,023$	$\pm 0,019$	$\pm 0,086$				
Микрометр, ординарная нить	22	$-0,101 \pm 0,029$	$\pm 0,099$	$+0,008$	$\pm 0,018$	$\pm 0,077$				
Среднее	—	—	—	—	$-0,005 \pm 0,013$					
Наблюдатель Р.										
Микрометр, ординарная нить	12	$-0,050 \pm 0,012$	$\pm 0,040$							
Тоже	8						$+0,044$	$\pm 0,014$	$\pm 0,044$	

Отсюда мы приходим к следующим редукциям азимутов a_p , a_{sp} и a_s на систему a_N северного азимута. ¹⁾ (Таблица XX).

Таблица XX.

Способ наблюдения.	$a_N - a_p$	$a_N - a_{sp}$	$a_N - a_s$
Наблюдатель П.			
Клавиша	$+0,090$	$-0,090$	$+0,085$
Микрометр (пара нитей)	$+0,086$	$-0,086$	$+0,081$
Микрометр (ординарная нить)	$+0,050$	$-0,050$	$+0,045$
Наблюдатель Р.			
Микрометр (ординарная нить)	$+0,025$	$-0,025$	$+0,044$

Средние ошибки одного определения азимута следующие:

Наблюдатель П.:

Клавиша: $\epsilon_0 = \pm 0,074$ (7 вечеров).

Микрометр, пара нитей: $\epsilon_0 = \pm 0,061$ (23 вечера).

Микрометр, ординарная нить: $\epsilon_0 = \pm 0,061$ (22 вечера).

Наблюдатель Р.:

для a_p и a_{sp} : $\epsilon_0 = \pm 0,042$ (14 вечеров).

для a_s : $\epsilon_0 = \pm 0,061$ (13 вечеров).

Средняя величина среднего коэффициента азимута для 52 вечеров наблюдений такова:

$$\alpha_m = 0,28.$$

¹⁾ $a_N = \frac{1}{2} (a_p + a_{sp})$ — северный азимут.

²⁾ Наблюдения производились при помощи микрометра двойко: делая наводку 1) двойной нитью и 2) ординарной нитью.

Средние ошибки определения времени по одной звезде времени следующие:

Наблюдатель П.:

Клавиша: $\varepsilon_1 = \pm 0,061$ (7 вечеров, 76 звезд).

Микрометр, пара нитей: $\varepsilon_1 = \pm 0,043$ (23 вечера, 323 звезды).

Микрометр, ординарная нить: $\varepsilon_1 = \pm 0,056$ (22 вечера, 227 звезд).

или, в среднем, для всего периода наблюдений с микрометром:

$\varepsilon_1 = \pm 0,054$ (45 вечеров, 550 звезд).

Наблюдатель Р.:

Микрометр, ординарная нить: $\varepsilon_1 = \pm 0,045$ (15 вечеров, 143 звезды).

Средние ошибки одного полного определения времени, вычисленные по формуле:

$$\varepsilon_n = \sqrt{\frac{1}{n} \varepsilon_1^2 + A_m^2 \frac{1}{j} \varepsilon_2^2}$$

следующие:

Наблюдатель П.:

$$\varepsilon_n = \pm 0,018.$$

Наблюдатель Р.:

$$\varepsilon_n = \pm 0,015.$$

§ 27. Формула для интерполяции поправок часов $R_{от}^*$ за период декабрь 1922 г.— март 1923 г. Для нахождения интерполяционной формулы были использованы поправки, указанные в 5-м столбце таблицы XXI, (поправки не исправлены за личную разность [СМ—К]). Поправки, выведенные из наблюдений при помощи клавиши, были предварительно исправлены за личную разность по формуле (59) и послужили для определения коэффициентов интерполяционной формулы вида:

$$u = u_0 + g_0 (t - t_0) + \alpha K_a \dots \dots \dots (60)$$

где: u — наблюдаемая поправка, u_0 — начальная соответствующая моменту $t_0 = 1923. III. 8,0$, t — средний момент определения поправки, g_0 — суточный ход при температуре T_0 ; $K_a = \int_{t_0}^t T dt$ — температурный интеграл в пределах от начальной до данной поправки; α — температурный коэффициент.

Т а б л и ц а XXI.

№№ наблю-дений.	Наблюдатель.	Способ наблюдения.	Среднее местное гражданское время.	Поправка (* — $R_{от}$)	Средние суточные ходы.	Число звезд времени и базисных.	Всё поправки.	K_a	$(t - t_0)$
—	П.	Самор. микр.	1922. X. 23,854	-18,828	-0,023	5+0	0,28	+154,05	-135,146
—	"	Клавиша	XII. 12,847	19,980	+0,064	5+0	0,11	+25,92	85,153
—	"	"	XII. 15,763	19,794	0,41	10+2	0,36	+21,12	82,237
1	"	"	1923. I. 3,809	19,013	0,82	8+2	0,23	-1,49	63,191
2	"	"	I. 24,820	17,293	0,89	11+4	0,53	-4,81	42,180
3	"	"	I. 30,793	16,760	0,69	12+4	0,53	-4,40	36,207
4	"	"	II. 9,980	16,062	1,05	13+4	0,67	-4,39	26,020
5	"	Самор. микр.	II. 22,840	14,624	0,89	13+3	1,00	-3,46	13,160
6	"	"	III. 1,828	14,001	1,11	17+2	1,00	-1,96	6,172
7	"	"	III. 5,809	13,561	0,82	18+3	1,00	-0,81	2,191
8	"	"	III. 6,809	13,479	1,48	16+3	1,00	-0,46	1,191
9	"	"	III. 7,804	13,332		17+3	1,00	-0,08	0,196

Формуле (60) соответствуют следующие нормальные уравнения:

$$\begin{aligned} 7,71 x - 17,3235 y + 3,8653 z + 1,6332 &= 0 \\ + 115,7362 y - 63,4734 z - 8,1547 &= 0 \\ + 69,3190 z - 2,8368 &= 0 \end{aligned}$$

где: $x = \frac{1}{10} (u + 13^\circ)$, $y = g_0$, $z = \alpha$.

Их решение дает:

$$u = -13,347 + 0,08816 (t - t_0) + 0,04173 K_a \dots \dots \dots (61)$$

$$\text{Средние ошибки: } \pm 0,026 \pm 0,0093 \quad \pm 0,0090.$$

$$\text{Средняя ошибка единицы веса: } \eta = \pm 0,053.$$

В таблице XXII приводим сравнение наблюдаемых поправок, исправленных за личную разность, с вычисленными по формуле (61).

Т а б л и ц а XXII.

Д а т а.	Вес поправок.	Наблюдаемые поправки.	Вычисленные поправки.	Δ
				Набл. — Вычисл.
1922 г. X. 23	0,28	- 18,828	- 18,833	+ 0,005
XII. 12	0,11	19,892	19,772	- 120
XII. 15	0,36	19,706	19,715	+ 009
1923 г. I. 3	0,23	18,925	18,980	+ 055
I. 24	0,53	17,205	17,266	+ 061
I. 30	0,53	16,672	16,722	+ 050
II. 9	0,67	15,974	15,824	- 150
II. 22	1,00	14,624	14,651	+ 027
III. 1	1,00	14,001	13,973	- 028
III. 5	1,00	13,361	13,574	+ 013
III. 6	1,00	13,479	13,471	- 008
III. 7	1,00	13,332	13,367	+ 035

Систематический характер Δ выражен весьма ясно. Поэтому остаточные ошибки были представлены в виде графика для интерполяции поправок $R_{\text{ср}}^*$ за период с 1. XII. 1922 г. по 1. III. 1923 г. К формуле (61) был придан дополнительный член, значение которого определялось при помощи графика. Результаты интерполяции поправок часов $R_{\text{ср}}^*$ за период с декабря 1922 г. по февраль 1923 г. приведены в таблице XXIII.

§ 28. Метод интерполяции поправок часов за период март — декабрь 1923 г. Предыдущий § 27 подтверждает, что поправки даже первоклассных часов не могут быть выражены аналитически в течении значительного промежутка времени и что принятая нами за постоянную величину часть хода g_0 есть на самом деле некоторая функция времени t , и ее правильнее обозначить через g_t .

Предположим, что в течение короткого промежутка времени функция g_t изменяется монотонно. Именно такой характер изменения заставляют нас предположить отмеченные в предыдущем параграфе систематические разности между наблюдаемыми и вычисленными поправками.

Таблица XXIII.

Дата.	K_{α}	u_{λ}	Исправ. член.	$* - R_{\text{ст}}$	Приме- чание.	Дата.	K_{α}	u_{λ}	Исправ. член.	$* - R_{\text{ст}}$	Приме- чание.
1922 г.						1923 г.					
XII. 0,5	+49,66	-19,872	0	-19,872		I. 14,5	-4,25	-18,153	+62	-18,091	
1,5	47,53	19,873	0	19,873		15,5	4,37	18,070	62	18,008	
2,5	45,43	19,872	0	19,872		16,5	4,42	17,984	62	17,922	
3,5	43,37	19,870	0	19,870		17,5	4,46	17,898	62	17,836	
4,5	41,35	19,866	0	19,866		18,5	4,46	17,809	61	17,748	
5,5	39,37	19,860	0	19,860		19,5	4,45	17,721	59	17,662	
6,5	37,43	19,853	0	19,853		20,5	4,43	17,632	58	17,574	
7,5	35,52	19,845	0	19,845		21,5	4,47	17,546	56	17,490	
8,5	33,64	19,835	0	19,835		22,5	4,57	17,462	54	17,408	
9,5	31,80	19,824	0	19,824		23,5	4,67	17,378	52	17,326	
10,5	29,99	19,811	0	19,811		24,5	4,76	17,293	50	17,243	*
11,5	28,23	19,796	0	19,796		25,5	4,82	17,207	47	17,160	(0,53)
12,5	26,51	19,780	0	19,780		26,5	4,82	17,119	44	17,075	
13,5	24,79	19,764	0	19,764	(0,11)	27,5	4,76	17,029	41	16,988	
14,5	23,15	19,744	0	19,744		28,5	4,62	16,935	37	16,898	
15,5	21,55	19,723	0	19,723	*	29,5	4,48	16,840	32	16,808	
16,5	19,88	19,703	0	19,703	(0,36)	30,5	4,39	16,748	25	16,723	*
17,5	18,24	19,684	0	19,684		31,5	4,35	16,659	18	16,641	(0,53)
18,5	16,64	19,663	+1	19,662		II. 1,5	4,32	16,569	11	16,558	
19,5	15,26	19,632	3	19,629		2,5	4,29	16,480	+3	16,478	
20,5	13,93	19,600	5	19,595		3,5	4,27	16,391	-10	16,401	
21,5	12,51	19,570	8	19,562		4,5	4,25	16,301	26	16,327	
22,5	11,13	19,540	11	19,529		5,5	4,23	16,213	46	16,259	
23,5	9,73	19,510	14	19,496		6,5	4,23	16,125	72	16,197	
24,5	8,33	19,480	18	19,462		7,5	4,23	16,037	99	16,136	
25,5	6,96	19,450	23	19,427		8,5	4,30	15,951	117	16,068	
26,5	5,68	19,415	27	19,388		9,5	4,37	15,865	123	15,988	*
27,5	4,48	19,376	31	19,345		10,5	4,37	15,777	126	15,901	(0,67)
28,5	3,35	19,335	35	19,300		11,5	4,37	15,689	125	15,814	
29,5	2,33	19,290	39	19,251		12,5	4,35	15,601	121	15,722	
30,5	1,43	19,239	42	19,197		13,5	4,33	15,512	114	15,626	
31,5	+0,61	19,186	45	19,141		14,5	4,31	15,423	100	15,523	
1923 г.						15,5	4,29	15,333	72	15,405	
I. 1,5	-0,13	19,127	48	19,079		16,5	4,23	15,243	41	15,284	
2,5	0,79	19,067	50	19,017		17,5	4,13	15,150	-12	15,162	
3,5	1,35	19,002	53	18,949		18,5	4,03	15,058	+7	15,051	
3,5	1,79	18,933	55	18,878	(0,23)	19,5	3,92	14,966	14	14,952	
5,5	2,16	18,860	56	18,804		20,5 ²⁾	3,80	14,872	17	14,855	
6,5	2,50	18,786	58	18,728		21,5	3,67	14,778	18	14,760	
7,5	2,80	18,710	59	18,651		22,5	3,51	14,683	18	14,665	(1)
8,5	3,08	18,634	60	18,574		23,5	3,32	14,588	17	14,571	
9,5	3,34	18,556	61	18,495		24,5	3,12	14,491	13	14,478	
10,5	3,58	18,478	62	18,416		25,5	2,91	14,394	+4	14,390	
11,5	3,79	18,399	62	18,337		26,5	2,69	14,296	-22	14,318	
12,5	3,97	18,319	62	18,257		27,5	2,47	14,199	27	14,226	
13,5	4,13	18,236	62	18,174		28,5	2,25	14,102	30	14,132	

¹⁾ Поправочный член дан в тысячных долях секунды.

²⁾ Всюду в графе «примечание» дата наблюдения отмечена звездочкой, под которой поставлен вес наблюдаемой поправки часов.

³⁾ До 20. II поправки интерполируются только по $R_{\text{ст}}^*$, с 20. II присоединяются и другие часы.

Берем группу из небольшого числа ¹⁾ рядом лежащих поправок и попытаемся их объединить формулой вида:

$$u_t = u_0 + g_0(t - t_0) + \alpha' K_2 \dots \dots \dots (62)$$

Решение даст нам некоторые значения u_0 , g_0 и α' вообще говоря далекие от истинных, но тем не менее достаточно хорошо выражающие взятые нами поправки; остаточные ошибки могут быть приняты за ошибки наблюдений.

Так как температурный интеграл K_2 также есть некоторая функция времени и в течение малого промежутка времени меняется, вообще говоря, тоже монотонно, то найденное значение α' будет в значительной своей части зависеть от поведения функции g_t за данный промежуток времени и представляет также и ее изменения.

Найдем, пользуясь g_0 и α' значение хода $g_{T, t}$, отвечающее средней температуре взятого нами промежутка времени; очевидно, что, с другой стороны, это значение может быть нами приравнено среднему значению функции g_t , плюс влияние температуры, т. е.

$$g_{T, t} = g_t + \alpha T_t$$

Последняя формула позволяет нам определить значение g_t . Производим такую же операцию над новой группой, составленной из всех, кроме первой, поправок предыдущей группы с добавлением следующей по порядку поправки. Обработав таким образом весь ряд имеющихся поправок, мы найдем, в конце концов, несколько отдельных значений ошибок наблюдений и целый ряд отдельных значений g_t и коэффициента α' . Объединив последние, мы найдем наивероятнейшее значение α . Одновременно с этим нами будет получен целый ряд уравненных ходов $g_{T, t}$, относящихся к средним температурам и к средним моментам взятых промежутков. Построив по этим данным график, мы получим кривую хода $g_{T, t}$, дающую для каждого суток наивероятнейшее значение хода. Вместо этого графика может быть построен также график функции g_t .

Только что описанный способ служил для интерполяции поправок $R_{от}^*$ и остальных нормальных часов, которые сличались с $R_{от}^*$. Для каждого часа составлялась система исправлений для наблюдаемых поправок. Эти исправления объединялись и находились их наивернейшие соответствующие показаниям всего комплекса часов значения, которые и вносились в наблюдаемые поправки. Мы получаем таким образом систему наивероятнейших значений поправок каждого часа.

Для интерполяции промежуточных значений служит график функций $g_{t, T}$ или g_t , при чем в последнем случае учитывается средняя температура данных суток. Ошибки графика и случайные колебания ходов часов вызывают, вообще говоря, некоторую невязку, которая уничтожается пропорциональным ее распределением на интерполируемые значения в данном промежутке.

Этот способ был приложен к поправкам, приведенным в таблицах XXIV и XXV, наблюдаемым исключительно при помощи саморегистрирующего микрометра. В наблюдениях конца марта и начала апреля 1923 г. было констатировано значительное увеличение ошибок наблюдений звезд. После тщательного осмотра пассажного инструмента обнаружилось, что ошибки вызывались шатанием объектива. Этот недостаток был устранен 17. IV. 23 г., так что период неблагоприятного состояния инструмента охватывал поправки №№ 13—22. Это подтвердилось результатами интерполяции поправок. Исправления поправок дают для средней ошибки одного определения времени значения:

$$\begin{array}{ll} \text{Для поправок №№ 6—12 и 23—30:} & \alpha = \pm 0,017 \\ \text{„ „ „ №№ 13—22:} & \alpha = \pm 0,035 \end{array}$$

т. е. точность наблюдений в период с 20. III по 13. IV была в 2 раза ниже нормальной. Но, тем не менее, благодаря большому числу определений времени и малым

¹⁾ Но больше числа неизвестных, т. е. 3.

Т а б л и ц а

№ набл. дней.	Наб- людатель.	Среднее местное град. время.	* - R ₆₇ *	g	⊙ - R ₉₀ ⊙	g	Число часов в сутки и минут в сутки	Вес по- правки.	Температурные интегралы Кв.	
									R ₆₇ *	R ₉₀ ⊙
		1923 г.								
5	П.	II. 22,840	-14,624		+ 1 ^m		13+3	1	—	—
6	"	III. 1,828	14,001	+ 0,089			17+2	1	- 74,40	—
7	"	5,809	13,561	111			18+3	1	65,28	—
8	"	6,809	13,479	082			16+3	1	62,94	—
9	"	7,804	13,332	148			17+3	1	60,58	—
10	"	10,966	12,987	109			19+5	1	52,86	—
11	"	14,946	12,536	113			9+1	1/2	42,75	—
12	Р.	19,837	11,964	117	23,502		9+3	1	29,78	- 26,33
13	П.	20,998	11,806	135	23,489	- 0,011	20+6	1	26,75	23,65
14	"	22,964	11,636	087	23,375	- 0,58	14+5	1	21,65	19,20
15	Р.	23,871	11,480	172	23,394	+ 0,21	8+4	1	19,32	17,13
16	"	25,875	11,178	151	23,365	- 0,14	10+4	1	14,19	12,60
17	П.	26,866	11,123	056	23,258	108	16+6	1	11,68	10,39
18	"	III. 30,016	10,839	090	23,028	073	14+4	1	- 3,70	- 3,30
19	Р.	IV. 28,47	10,329	133	22,918	029	10+4	1	+ 5,63	+ 4,90
20	П.	6,837	9,929	100	22,655	066	12+4	1	14,75	13,19
21	"	9,841	9,459	156	22,480	058	13+3	1	21,31	19,14
22	Р.	13,863	8,898	139	22,216	066	14+3	1	29,15	26,11
23	П.	17,840	8,394	127	21,958	065	3+0	1/10	35,99	32,20
24	"	21,967	- 7,860	129	21,764	047	13+4	1	42,39	37,78
25	"	IV. 30,853	+ 24,095 ¹⁾	—	21,529	026	1+0	1/20	55,58	48,72
26	"	V. 3,882	24,354	086	21,410	- 0,39	15+3	1	58,93	51,63
27	Р.	4,883	24,530	176	21,458	+ 0,48	12+5	1	59,95	52,52
28	П.	9,008	24,932	098	21,469	003	41+11	2	63,73	55,62
29	"	15,915	25,493	081	21,588	017	7+3	1/2	69,14	59,95
30	"	17,020	25,621	116	21,692	094	25+8	1/2	69,77	60,42
31	Р.	21,969	25,934	063	21,978	058	15+5	1	71,60	61,74
32	П.	23,915	26,023	046	22,100	063	5+2	1/2	72,01	61,08
33	"	25,949	26,091	033	22,238	068	15+4	1	72,21	62,00
34	"	V. 31,970	26,286	032	22,771	089	12+3	1	71,82	61,12
35	Р.	VI. 4,920	26,416	033	23,285	130	2+1	1/5	70,81	59,77
36	П.	6,954	26,436	010	23,526	118	13+4	1	70,05	58,85
37	"	13,965	26,602	024	24,573	149	15+3	1	66,57	54,93
38	Р.	16,945	26,655	018	25,024	151	9+2	1	64,82	52,93
39	П.	VI. 23,992	27,026	053	26,462	204	14+1	1	60,22	47,74
40	"	VII. 1,000	27,413	055	28,152	241	11+1	1/2	55,82	42,84
41	Р.	3,949	27,515	108	28,449	313	8+3	1	55,29	42,26
42	П.	5,944	27,732	054	29,567	280	13+2	1	53,06	39,66

1) Часы R₆₇* остановились 26. IV.

XXIV.

№№ наблюдений	Наблюдатель	Среднее местное гражд. время	$*-R_{67}^*$	g	$\odot - R_{86}^{\odot}$	g	Число часов времени и секундомерных пик.	Вес поправки	Температурные интегралы $K\alpha$	
									R_{67}^*	R_{86}^{\odot}
		1923 г.			$+1^m$					
42	П.	VII 5,944	+27,732		$29^s 567$	$+0,283$	13+2	1	+53,06	+39,66
43	Р.	11,963 ¹⁾	27,980 ²⁾	+0,041	31,272		12+3	1	49,92	35,96
44	П.	VIII 7,918	34,873	033	39,704	313	12+3	1	48,17	31,81
45	"	9,950	34,973	049	40,424	354	11+5	1	48,62	32,11
46	"	13,920	35,010	009	41,707	323	7+1	1/2	49,42	32,65
47	"	19,967	175	026	43,782	343	12+5	1	50,32	33,13
48	Р.	22,978	326	+ 050	44,905	373	5+3	1/2	50,63	33,11
49	П.	VIII 25,902	269	- 019	45,792	303	13+5	1	50,85	33,48
50	"	IX 7,942	412	+ 011	50,344	349	7+1	1/2	51,34	33,13
51	"	10,981	437	+ 008	51,413	352	7+3	3/4	51,11	32,67
52	"	11,932	404	- 035	51,715	318	12+2	1	51,00	32,48
53	"	14,904	356	- 016	52,703	332	15+5	1	50,56	31,88
54	"	19,896	392	+ 007	54,535	367	12+5	1	49,53	30,55
55	"	IX 26,926	337	- 008	57,098	365	12+3	1	47,58	28,08
56	Р.	X 6,951	282	- 005	2 0,807	370	11+4	1	43,88	23,76
57	"	11,966	332	+ 010	2,607	359	6+4	1	41,54	21,15
58	П.	19,897	438	+ 013	5,557	372	8+3	1	36,93	16,19
59	"	23,798	535	+ 025	7,065	388	2+0	1/10	34,73	13,72
60	"	25,912	512	- 011	7,844	368	5+2	1/2	33,81	12,60
61	"	28,864	586	+ 025	8,993	389	1+2	1/10	32,93	11,39
62	"	X 29,885	35,649	062	9,419	417	12+3	1	32,72	11,06
63	Р.	XI 14,905	36,417	048	15,700	392	14+4	1	33,91	10,42
64	П.	20,893	759	057	18,051	393	1+0	1/10	35,49	11,30
65	"	22,854	36,791	016	18,755	359	7+2	3/4	36,15	11,74
66	"	XI 27,874	37,084	059	20,794	406	5+1	1/2	38,11	13,11
67	"	XII 2,865	37,391	062	22,844	411	10+3	1	40,22	14,63
68	"	16,960	28,070 ³⁾	048	28,717	417	12+2	1	51,02	23,33
69	"	20,999	319	062	30,462	432	12+3	1	55,80	27,48
70	"	23,866	28,487	059	31,700	432	12+2	1	59,46	30,68
1	"	1924 г.		052		436				
2	Р.	I 5,829	29,164	067	37,353	482	7+2	1/2	78,53	47,62
3	"	I 24,725	30,434	113	46,469	538	13+3	1	110,61	76,58
4	П.	I 28,944	30,912	095	48,698	489	12+3	1	117,81	82,97
		II 7,967	31,860		53,600		11+5	1	135,48	98,89

1) Башня ремонтируется. Пассажный инструмент снят и подвергнут чистке

2) Часы R_{67}^* пропустили 6^s при замене батареек.3) Часы R_{67}^* пропустили 50^s и поставлены вперед на 1 минуту.

Таблица

Часы поправки.	Среднее местное гражд. время.	Интерполирован. на полдень поправка R_{87}^*			$\odot - R_{82}^{\odot}$	Влияние барометрического интеграла.	Температурный интеграл K_{θ}	$* - R_{81}^*$	Влияние барометрического интеграла.	Температурный интеграл K_{θ}	Всего поправки.
		по R_{87}^*	по R_{86}^{\odot}	Сред.							
	1923 г.										
5	II. 22,5	-14,655	—	—	+77,330	+5,607	—	+30,886	+6,190	—	1
6	III. 1,5	14,032	—	—	72,540	5,234	-75,13	32,136	5,778	-68,37	1
7	5,5	13,592	—	—	69,981	4,766	66,00	33,106	5,262	60,10	1
8	6,5	510	—	—	69,367	4,604	63,66	33,370	5,083	57,99	1
9	7,5	363	—	—	68,811	4,411	61,30	33,724	4,870	55,87	1
10	10,5	13,036	—	—	67,144	3,714	54,03	34,744	4,101	49,30	1
11	14,5	12,585	—	—	65,189	2,444	43,90	36,459	2,698	40,08	1/2
12	19,5	12,001	003	002	61,973	1,672	30,67	37,954	1,846	27,96	1
13	20,5	11,861	876	868	61,230	1,629	28,05	38,177	1,798	25,55	1
14	22,5	687	698	692	59,731	1,464	22,85	38,626	1,616	20,78	1
15	23,5	520	529	524	59,053	1,397	20,27	38,911	1,543	18,40	1
16	25,5	218	236	227	57,844	1,064	15,15	41,680 ¹⁾	1,175	13,73	1
17	26,5	11,162	186	174	57,171	0,856	12,61	42,002	0,946	11,42	1
18	III. 29,5	10,894	910	902	55,173	+0,339	-5,01	42,961	+0,375	-4,50	1
19	IV. 2,5	10,368	371	370	52,671	-0,312	+4,82	44,378	-0,345	+4,28	1
20	6,5	9,972	977	974	50,088	1,077	13,98	45,703	1,189	12,51	1
21	9,5	9,504	509	506	48,167	1,538	20,60	46,769	1,698	18,54	1
22	13,5	8,946	948	947	45,252	1,810	28,48	47,801	1,998	25,54	1
23	17,5	8,438	440	439	42,168	1,941	35,44	48,618	2,143	31,80	1/10
24	21,5	-7,918	924	921	38,903	1,860	41,69	49,329	2,054	37,35	1
25	IV. 30,5	+24,054	053	054	31,496	1,443	55,11	50,528	1,593	48,45	1/20
26	V. 3,5	314	316	315	29,061	1,342	58,53	50,863	1,481	51,32	1
27	4,5	491	474	482	28,450	1,413	59,57	51,190	1,560	52,21	1
28	8,5	24,883	878	880	25,685	1,648	63,29	52,162	1,819	55,19	2
29	15,5	25,463	463	463	20,177	1,572	68,87	53,382	1,735	59,88	1/2
30	16,5	583	586	584	19,506	1,632	69,49	53,689	1,802	60,44	1/2
31	21,5	25,908	914	911	15,956	1,946	71,48	57,037 ²⁾	2,148	61,58	1
32	23,5	26,003	006	004	14,501	2,051	71,94	57,525	2,264	61,74	1/2
33	25,5	081	068	074	12,898	1,990	72,18	57,826	2,198	61,71	1
34	V. 31,5	271	272	272	8,564	2,236	71,90	59,204	2,469	60,62	1
35	VI. 4,5	407	410	408	5,485	2,116	70,95	59,779	2,336	58,96	1/2
36	6,5	428	426	427	+3,717	1,856	70,23	59,803	2,049	57,88	1
37	13,5	592	596	594	-2,059	1,281	66,84	60,245	1,415	53,44	1
38	16,5	639	643	641	4,341	1,237	65,09	60,605	1,366	51,29	1
39	23,5	26,999	1,007	1,003	9,471	1,275	60,54	61,931	1,408	45,79	1
40	VI. 30,5	27,383	379	381	14,683	1,134	56,10	63,076	1,252	40,61	1/2
41	VII. 1,5	488	496	492	15,304	1,186	55,54	63,354	1,310	39,97	1
42	5,5	711	714	712	17,762	1,645	53,30	64,425	1,816	37,24	1

1) Часы R_{81}^* при замене батареек потеряли 2°.2) Часы R_{81}^* потеряли 2°.

XXX.

№№ поправок.	Среднее местное гражд. врем.	Интерполирован. на полдень поправка R_{67}^*			$\ominus - R_{81}^*$	Влияние барометрического интеграла.	Температурный интеграл K^*	$* - R_{61}^{\odot}$	Влияние барометрического интеграла.	Температурный интеграл K^{\odot}	Веса поправок.
		по R_{47}^*	по R_{58}^{\odot}	Сред.							
1923 г.											
43	VII. 11,5	27,963	963	963	-21,292	-2,473	+50,15	+66,013	-2,730	+33,43	1
44	VIII. 7,5	34,859	865	862	42,785	0,745	48,08	66,332	0,823	28,72	1
45	9,5	959	956	959	44,174	0,725	48,52	66,377	0,800	28,94	1
46	13,5	34,998	992	995	47,315	-0,477	49,34	66,065	-0,527	29,33	1/2
47	19,5	35,165	164	164	52,304	+0,251	50,26	65,549	+0,277	29,61	1
48	22,5	317	318	318	54,539	0,444	50,58	65,658	0,490	29,66	1/2
49	VIII. 25,5	262	258	260	56,699	+0,338	50,81	65,840	+0,373	29,84	1
50	IX. 7,5	410	413	412	65,435	-0,132	51,36	66,869	-0,145	29,15	1/2
51	10,5	437	433	435	67,737	+0,054	51,16	66,764	+0,060	28,60	3/4
52	11,5	404	399	402	68,563	0,132	51,05	66,672	0,145	28,38	1
53	14,5	356	356	356	70,905	+0,305	50,62	66,519	+0,536	27,59	1
54	19,5	394	391	392	73,804	-0,347	49,63	67,405	-0,383	25,99	1
55	IX. 26,5	338	338	338	78,356	0,736	47,70	65,956 ¹⁾	0,812	23,22	1
56	X. 6,5	281	278	280	85,302	0,790	44,07	66,170	0,872	18,49	1
57	11,5	329	325	327	89,635	-0,128	41,78	63,484 ¹⁾	-0,142	15,47	1
58	19,5	434	429	432	96,179	+0,680	37,18	60,908 ¹⁾	+0,751	9,89	1
59	23,5	529	529	529	99,274	0,883	34,88	60,789	0,975	7,03	1/10
60	25,5	502	510	506	101,259	1,347	33,98	60,243	1,487	5,84	1/2
61	28,5	574	571	572	103,940	1,870	33,02	59,714	2,064	4,44	1/10
62	X. 29,5	35,635	637	636	104,500	1,733	32,80	59,917	1,914	4,06	1
63	XI. 14,5	36,398	399	398	116,677	2,514	33,83	55,092 ²⁾	2,775	2,56	1
64	20,5	738	734	736	121,417	2,945	35,36	54,502	3,252	3,16	1/10
65	22,5	36,772	781	776	123,288	3,221	36,02	54,077	3,556	3,50	3/4
66	XI. 27,5	37,062	068	065	127,261	3,616	37,96	53,560	3,992	4,61	1/2
67	XII. 2,5	37,369	371	370	130,661	3,388	40,05	53,687	3,740	5,74	1
68	16,5	28,044	052	048	51,766 ³⁾	1,480	50,50	67,397 ³⁾	1,634	13,42	1
69	20,5	291	295	293	55,255	2,347	55,18	66,306	2,591	17,31	1
70	XII. 23,5	28,466	466	466	57,709	2,509	58,98	65,980	2,770	20,48	1
1924 г.											
1	I. 5,5	29,146	144	145	-67,794	+2,549	78,01	30,800 ⁴⁾	+2,814	36,27	1/2
2	24,5	30,411	414	412	+68,843	-0,758	110,21	82,496 ⁵⁾	-0,837	63,88	1
3	I. 28,5	30,862	855	858	66,822	-1,705	117,06	83,141	1,882	69,53	1
4	II. 7,5	31,818	804	811	+57,803	-0,287	134,61	78,347 ⁶⁾	-0,317	-	1

1) Часы R_{81}^* выиграли 2°.

2) Часы R_{81}^* переставлены вперед на 34°.

3) „ R_{81}^* выиграли 2° с 30/31 X и 11/12 XI, 4) „ R_{81}^* остановились 12. I 1924 и снова пущены в ход.

5) „ R_{81}^* потеряли 12°.

6) „ R_{81}^* в промежутке с 28. I по 7. II отстали на несколько минут.

7) „ R_{81}^{\odot} остановлены на 1^m 28°.

интервалам между ними, точность интерполированных поправок этого периода мало уступает точности поправок периодов с нормальным состоянием инструмента.

§ 29. Приложение метода к отдельным часам. Что же касается нормальных часов, привлеченных к интерполяции поправок, то о них заметим следующее.

Часы $R_{от}^*$ служили за весь период рабочими часами. Выравниванию подвергались поправки начиная с № 6 1923 г. по № 3 1924 г.; за начальный момент t_0 , как и для других часов, принято:

$$t_0 = 1923. IV. 0.5^d \text{ } ^1)$$

Температурные интегралы K_α вычислены по формуле:

$$K_\alpha = \sum k (T - 15^\circ)$$

где $k = -1$ при $t < t_0$ и $k = +1$ при $t > t_0$, T — средняя температура часов за данные сутки; прирост температурного интеграла за промежуток между соответствующим полуднем и средним моментом определения поправки также учитывался, полагая k дробным и равным протекшей доле суток. Эти интегралы приведены в предпоследнем столбце таблицы XXIV.

26. IV. 1923 г., из-за неисправности батарей, часы $R_{от}^*$ отстали на несколько минут ²⁾, и этим объясняется разрыв поправок между 21. IV и 30. IV. Поправки за этот последний период были представлены формулой:

$$U_t = U_0 + g'_0 (t - t_0) + \alpha' K_\alpha + \Delta u.$$

где Δu — изменение поправки вследствие остановки $R_{от}^*$.

Далее, 19. VII. 1923 г. было отмечено внезапное изменение амплитуды в 1' относительные ходы всех нормальных часов позволили отметить вызванный этим скачок хода в 0,016, который и был учтен при интерполяции поправок.

Для обоих периодов: с 21. IV по 30. IV и с 11. VII по 7. VIII показаниям $R_{от}^*$ придан половинный вес.

В качестве примера отдельных операций при применении указанного в предыдущем § 28 метода помещается таблица XXVI, где даны отдельные значения исправлений по часам $R_{от}^*$ поправок №№ 6—33 (в тысячных долях секунды), полученных при решении различных групп, и таблица XXVII, где даны для часов $R_{от}^*$ средние уравненные ходы ($g_{T,t}$), те же ходы, исправленные за температуру (g_t), причем за температурный коэффициент принято $\alpha = +0,038$; средние разности температур ($T - 15^\circ$), средние моменты t , к которым относятся ходы, и, наконец, отдельные значения температурного коэффициента α , показывающие постепенное улучшение каждого из последующих значений α , вызванное объединением всех предыдущих результатов.

Часы $R_{от}^\odot$ были пущены в ход и взяты в сличение с 18. III. 1923 г. Выравниванию подвергались поправки, начиная с № 12 1923 г. по № 3 1924 г. Поправки получены из сличений часов $R_{от}^\odot$ с часами $R_{от}^*$ до и после определений времени, а их точность принята равной точности непосредственных наблюдений; эти данные приведены в таблице XXIV. В течение всего периода давление под колпаком часов медленно повышалось и установилось только под конец его. Этот факт вызвал лишь некоторые затруднения при исследовании часов и несколько не отразился на интерполяции поправок. Часам $R_{от}^\odot$ приписан вес равный единице, за исключением начала периода, пока их ход не мог считаться установившимся.

¹⁾ По среднему местному гражданскому времени (счет от полуночи).

²⁾ Часы не вскрывались, они сами пошли в ход после замены батарей.

Таблица XXVI*)

№№ наблюдений, входящих в группу	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
6-9	-2	-5	+23	-15									
7-10		-8	+21	-14	+1								
8-11			+17	-18	-3	+6							
9-12				-1	+1	0	0						
10-13					-1	-1	+11	-11					
11-14						+4	+12	-23	+8				
12-15							+42	+22	+42	-106			
13-16								-35	+53	-14	-31		
14-17									+21	+12	-43	+34	
15-18										+43	-55	-11	+23
16-19											-37	+11	+54
17-20												-4	+33
18-21													+7
Среднее.	-2	-6	+20	-12	0	+2	+16	-12	+31	-15	-42	+8	+29

№№ наблюдений, входящих в группу	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
16-19	-28											
17-20	-57	+28										
18-21	-37	+61	-30									
19-22	-36	+65	-15	-14								
20-24		+2	-7	+5	+23	-3						
21-27			+6	-10	+9	+3	-72	+31	-27			
22-28				0	+15	-1	-49	+32	-35			
25-29							-73	+39	-24	-10	+20	
27-30									+16	-13	+32	-4
28-31										+2	+29	-16
29-32											+110	-37
30-33												+12
Среднее.	-40	+39	-12	-5	+16	0	-65	+34	-18	-4	+48	-11

*) Нижняя часть таблицы составляет продолжение верхней.

Таблица XXVII.

№№ поправок, входящих в группу.	t 1923 г.	$T-15^\circ$	$g_{t,T}$	g_t	α
6—9	III. 4,8	+ 2,31	+0,110	+0,022	+ 0,010
7—10	8,4	2,41	113	21	19
8—11	10,9	2,48	114	20	20
9—12	13,8	2,56	114	17	28
10—13	16,0	2,60	117	18	34
11—14	19,0	2,63	112	+ 12	30
12—15	21,9	2,59	078	- 21	79
13—16	23,4	2,58	130	+ 32	73
14—17	24,9	2,56	135	38	71
15—18	26,9	2,54	101	4	68
16—19	29,9	2,49	108	14	64
17—20	IV. 1,4	2,41	112	20	67
18—21	4,4	2,31	124	36	51
19—22	8,4	2,14	132	51	47
20—24	14,4	1,83	136	67	47
21—27	22,4	1,54	128	69	44
22—28	26,4	1,38	120	68	38
25—29	V. 8,4	0,90	099	65	39
27—30	11,0	0,81	088	57	38
28—31	15,5	0,61	078	55	39
29—32	19,9	0,36	065	51	38
30—33	21,5	0,27	053	43	38

Часы R_{08}^{\odot} были пущены в ход и взяты в сличение 17. II. 1923 г. В выравнивании участвовали поправки начиная с № 5 1923 г. по № 3 1924 г. Они получены интерполяцией наблюдаемых поправок часов R_{07}^* и часов R_{06}^{\odot} на предшествующий звездному наблюдению полдень. (Таблица XXV). Учитывалось влияние изменения плотности воздуха, вызванного одним изменением барометрического давления ¹⁾, для чего на каждый день вычислялся барометрический интеграл по формуле:

$$K_{\beta} = \int_{t_0}^t (H - 755) dt = \sum k (H_m - 755),$$

где H_m — среднее за сутки барометрическое давление, t_0 — начальный момент, $k = -1$ при $t < t_0$ и $k = +1$ при $t > t_0$.

¹⁾ Как это уже упоминалось раньше, такой способ учета вполне достаточен для интерполяции поправок.

Наблюдаемые поправки исправлялись на барометрический интеграл и выравниванию подвергались условные уравнения вида:

$$U'_t = U_0 + g'_0 (t - t_0) + \alpha K_a$$

где $U'_t = U_t - \beta K_\beta$, при чем за барометрический коэффициент β было принято значение:

$$\beta = +0,01586.$$

Вычисление промежуточных значений поправок часов R_{98}^{\odot} производилось обратным путем: сначала интерполировалась функция U_t , а затем учитывалось влияние барометрического интеграла K_β . Поправки часов R_{98}^{\odot} , за исключением относящихся к началу периода, всюду взяты с весом равным 1.

Часы R_{91}^* пущены в ход одновременно с часами R_{98}^{\odot} , т. е. 17. II. 23 г. Получение и обработка их поправок (Таблица XXV) совершенно аналогичны обработке поправок часов R_{98}^{\odot} , с той лишь разницей, что барометрический интеграл учитывался с коэффициентом:

$$\beta = +0,01751.$$

Часы R_{91}^* были установлены во временном футляре и подвергались в течение года нескольким осмотрам, сопровождавшимся открываниями футляра, что вызвало большие колебания их хода. Это особенно заметно в промежутке с II. VII по 7. VIII, в котором часам R_{91}^* приписан вес, равный 0. Во всех остальных случаях, за исключением начала периода (февраль — март) и конца декабря 1923 г. их показаниям придан вес, равный 1.

В таблице XXVIII приведена сводка, по всем нормальным часам, значений исправлений для наблюдаемых поправок, их веса и наимвероятнейшие значения. Достаточно хорошее согласие этих значений друг с другом говорит в пользу применимости этого метода интерполяции поправок. Приведенные в таблице наимвероятнейшие значения исправлений и были внесены в поправки часов; что же касается поправки № 5, то для нее было принято значение: $-0,010$, полученное при обработке данных часов R_{97}^* за период декабрь 1922 г. — февраль 1923 г.

В конце статьи, в таблице XXIX, даны на каждый день периода с 20. II по 31. XII 1923 г. значения барометрического интеграла, служившего для интерполяции поправок часов R_{98}^{\odot} и R_{91}^* , интерполированные по всем нормальным часам поправки, результаты сравнений часов и величина:

$$S - 12^h = S_g - 12^h - 19,92$$

(S_g — звездное время в средний гриничский полдень), служившие для сопоставления результатов интерполяции по различным часам, поправки R_{97}^* , вычисленные на основании интерполированных поправок часов R_{98}^{\odot} , R_{91}^* и R_{96}^{\odot} , приданные отдельным часам веса и наконец окончательные поправки часов R_{97}^* .

Т а б л и ц а

№ № по- правок.	Средние значения исправлений по часам:				Веса средних значений:				Наиболее вероятные значения исправлений.	Веса по- правок.
	R_{67}^*	R_{68}^{\ominus}	R_{68}^{\ominus}	R_{61}^*	R_{67}^*	R_{66}^{\ominus}	R_{68}^{\ominus}	R_{61}^*		
6	- 2	-	-	-	1	-	-	-	- 2 ¹⁾	1
7	- 6	-	+ 1	+ 1	1	-	0,50	0	- 4	1
8	+ 20	-	+ 9	+ 12	1	-	0,50	0	+ 16	1
9	- 12	-	- 13	- 34	1	-	0,50	0	- 12	1
10	0	-	+ 8	- 32	1	-	0,50	0	+ 3	1
11	+ 2	-	+ 4	+ 57	1	-	0,50	0	+ 3	0,5
12	+ 16	+ 6	+ 6	+ 35	1	0,25	0,50	0	+ 12	1
13	- 12	- 22	- 12	- 4	1	0,50	1	1	- 11	1
14	+ 31	+ 33	+ 47	+ 36	1	0,75	1	1	+ 37	1
15	- 15	- 38	- 13	- 24	1	1	1	1	- 22	1
16	- 42	- 90	- 65	- 71	1	1	1	1	- 67	1
17	+ 8	- 21	+ 4	- 5	1	1	1	1	- 4	1
18	+ 29	+ 107	+ 52	+ 58	1	1	1	1	+ 62	1
19	- 40	+ 15	- 47	- 51	1	1	1	1	- 31	1
20	+ 39	- 1	+ 34	+ 50	1	1	1	1	+ 30	1
21	- 12	+ 13	- 4	- 3	1	1	1	1	- 2	1
22	- 5	- 7	- 14	- 18	1	1	1	1	- 11	1
23	+ 16	+ 12	- 2	+ 50	1	1	1	1	+ 19	0,10
24	0	+ 8	+ 10	- 8	1	1	1	1	+ 2	1
25	- 65	- 63	- 4	- 64	1	1	1	1	- 49	0,05
26	+ 34	+ 17	+ 49	+ 34	1	1	1	1	+ 34	1
27	- 18	- 22	- 24	- 31	1	1	1	1	- 24	1
28	- 4	- 3	- 23	+ 1	1	1	1	1	- 7	2
29	+ 48	+ 40	+ 40	+ 27	1	1	1	1	+ 39	0,5
30	- 11	+ 1	+ 3	- 10	1	1	1	1	- 4	1,5
31	- 12	- 16	- 6	- 4	1	1	1	1	- 10	1
32	+ 20	+ 2	+ 2	+ 5	1	1	1	1	+ 7	0,5
33	+ 1	+ 1	- 5	+ 6	1	1	1	1	+ 1	1
34	0	+ 6	+ 11	+ 2	1	1	1	1	+ 5	1
35	- 24	- 29	- 18	- 17	1	1	1	1	- 22	0,2
36	+ 3	+ 2	- 2	- 3	1	1	1	1	0	1
37	- 16	- 33	- 7	- 24	1	1	1	1	- 20	1

¹⁾ Для не помещенной в таблице поправки № 5 принято исправление + 0,010, полученное графическим путем.

XXVIII.

№№ поправок.	Средние значения исправлений по часам:				Веса средних значений.				Наивероятнейшие значения исправлений.	Веса поправок.
	R_{07}^*	R_{08}^{\odot}	R_{09}^{\odot}	R_{01}^*	R_{07}^*	R_{08}^{\odot}	R_{09}^{\odot}	R_{01}^*		
38	+ 18	+ 9	+ 3	+ 28	1	1	1	1	+ 14	1
39	+ 4	+ 46	+ 17	+ 12	1	1	1	1	+ 20	1
40	+ 19	- 6	+ 9	+ 4	1	1	1	1	+ 6	0,5
41	- 8	- 8	- 18	- 18	1	1	1	1	- 13	1
42	- 11	- 13	+ 4	- 11	1	1	1	1	- 8	1
43	+ 6	- 1	- 2	+ 12	1	1	1	1	+ 4	1
44	+ 12	+ 12	+ 23	- 4	1	1	1	1	+ 10	1
45	- 26	- 12	- 31	- 25	1	1	1	1	- 26	1
46	+ 24	+ 30	+ 23	+ 63	1	1	1	1	+ 35	0,5
47	+ 10	+ 10	+ 10	+ 4	1	1	1	1	+ 8	1
48	- 58	- 76	- 79	- 92	1	1	1	1	- 81 ¹⁾	0,5
49	+ 24	+ 29	+ 32	+ 5	1	1	1	1	+ 19	1
50	- 6	0	+ 6	+ 1	1	1	1	1	- 2	0,5
51	- 24	- 23	- 24	- 18	1	1	1	1	- 19	0,75
52	+ 5	+ 2	0	+ 4	1	1	1	1	+ 5	1
53	+ 24	+ 24	+ 8	+ 18	1	1	1	1	+ 18	1
54	- 16	- 28	- 1	- 9	1	1	1	1	- 14	1
55	0	+ 18	+ 17	0	1	1	1	1	+ 9	1
56	+ 10	- 10	- 31	- 18	1	1	1	1	- 12	1
57	- 6	+ 8	+ 29	+ 36	1	1	1	1	+ 17	1
58	+ 1	+ 10	- 19	- 30	1	1	1	1	- 10	1
59	- 46	- 36	- 37	- 41	1	1	1	1	- 40	0,1
60	+ 4	- 2	+ 14	+ 23	1	1	1	1	+ 10	0,5
61	+ 25	+ 11	+ 24	+ 39	1	1	1	1	+ 25	0,1
62	0	- 10	- 9	+ 4	1	1	1	1	- 4	1
63	- 5	- 8	- 11	- 6	1	1	1	1	- 8	1
64	- 54	34	- 43	- 57	1	1	1	1	- 47	0,1
65	+ 11	+ 25	+ 22	+ 14	1	1	1	1	+ 18	0,75
66	+ 7	- 7	+ 10	- 16	1	1	1	1	- 2	0,5
67	- 7	- 5	- 8	+ 2	1	1	1	1	- 4	1
68	+ 6	+ 5	+ 2	+ 1	1	1	1	1	+ 4	1
69	- 2	+ 6	- 8	- 3	1	1	1	0,75	- 2	1
70	- 3	- 10	+ 7	+ 3	1	1	1	0,5	- 1	1
1	+ 10	+ 8	+ 8	-	1	1	1	-	+ 9 ²⁾	0,5

¹⁾ По ошибке для №№ 48-52 были взяты помещенные в таблицы значения исправлений поправок вместо верных средних: -0,076, +0,022, 0,000, -0,022 и +0,003

²⁾ Исправление поправки № 1-1924 г. получено графическим путем.

В сущности эта таблица представляет собою журнал ежедневных сличений часов; для вычисления по данным этого журнала поправок одних часов по поправкам других служат формулы:

а) для часов R_{01}^{\odot} :

$$(* - R_{07}^*) = (* - R_{01}^*) - (R_{07}^* - R_{01}^*)$$

б) для часов R_{08}^{\odot} :

$$(* - R_{07}^*) = (\odot - R_{08}^{\odot}) + (S - 12^h) - (R_{07}^* - R_{08}^{\odot})$$

в) для часов R_{08}^{\odot} :

$$(* - R_{07}^*) = (\odot - R_{08}^{\odot}) + (S - 12^h) - (R^* - R_{08}^{\odot})$$

Цель этой таблицы — дать материал для оценки качеств нормальных часов Главной Палаты и применяемых методов интерполяции их поправок, а также обосновать результаты приема радиосигналов времени станций «Новая Голландия», «Москва» и «Париж» за 1923 г.

Что же касается экстраполяции поправок часов, то за истекший период она производилась только по одним часам R_{07}^* . Средняя ошибка найденной таким образом предварительной поправки этих часов составляет $\pm 0,16$ при экстраполяции за промежуток в 10 дней.

Настоящая статья имеет целью дать описание приборов и методики работы эталонной лаборатории времени, а также наметить дальнейшие пути исследования часов.

Громоздкость численного метода улучшения поправок часов заставляет в будущем заменить его графическим методом. Сделанные в этом направлении опыты, а также опыт Bureau International de l'Heure, показывают полную целесообразность такой замены. При исследовании часов следует считать наиболее рациональным искусственное изменение условий их работы, а наиболее важным — изучение зависимости хода от амплитуды маятника.

Считаю своим приятным долгом выразить глубокую благодарность сотрудникам лаборатории: Г. Н. Мокееву, с неуклонной заботливостью следившему за условиями работы часов; Б. И. Раку, способствовавшему успешному разрешению многих вопросов; О. К. Блумберг, проводившей с огромной выдержкой наибольшую часть вычислений, и Ю. Н. Егорову, выполнившему остальную часть вычислений.

ТАБЛИЦА XXIX.

ЖУРНАЛ ЕЖЕДНЕВНЫХ СЛИЧЕНИЙ ЧАСОВ С 20 ФЕВРАЛЯ
ПО 31 ДЕКАБРЯ 1923 ГОДА.

В первой графе последнего столбца таблицы * — означает дни астрономических наблюдений; во второй графе — дан вес наблюдения.

Среднее местное гражд. время 1923 г.	$f(H-755,0)$	$\odot - R_{88}^{\odot}$	$* - R_{81}^*$	$\odot - R_{86}^{\odot}$	Сравнения часов		
					$R_{87}^* - R_{88}^{\odot}$	$R_{87}^* - R_{81}^*$	R_{87}^*
II 20,5	- 349,2	+ 78,851	-	+ 1 ^m	9 ^h 58 ^m 48,875	-	
21,5	353,2	78,062	-	-	10 2 44,551	-	
22,5	353,5	77,320	+ 30,876	-	6 40,285	+ 45,541	
23,5	350,0	76,647	31,058	-	10 36,085	654	
24,5	343,1	76,024	302	-	14 31,933	806	
25,5	336,5	75,394	539	-	18 27,764	45,964	
26,5	331,5	74,737	747	-	22 23,567	46,078	
27,5	330,2	74,019	891	-	26 19,305	122	
28,5	331,8	73,254	31,983	-	30 14,999	118	
II 1,5	330,0	72,538	32,134	-	34 10,732	168	
2,5	322,6	71,904	375	-	38 6,544	313	
3,5	314,4	71,278	632	-	42 2,360	464	
4,5	307,8	70,622	32,860	-	45 58,151	579	
5,5	300,5	69,977	33,102	-	49 53,943	698	
6,5	290,3	69,383	386	-	53 49,797	46,880	
7,5	278,1	68,799	33,712	-	10 57 45,645	47,087	
8,5	265,5	68,219	34,022	-	11 1 41,515	290	
9,5	251,3	67,661	360	-	5 37,389	513	
10,5	234,2	67,147	34,747	-	9 33,310	47,780	
11,5	215,6	66,638	35,150	-	13 29,245	48,075	
12,5	193,7	66,180	35,610	-	17 25,232	432	
13,5	171,9	65,719	36,070	-	21 21,203	48,768	
14,5	154,1	65,192	462	-	25 17,114	49,044	
15,5	140,7	64,611	36,821	-	29 12,952	267	
16,5	130,4	63,981	37,131	-	33 8,754	441	
17,5	120,2	63,346	439	-	37 4,565	644	
18,5	112,8	62,667	701	-	41 0,334	796	
19,5	105,4	61,985	37,966	+ 23,522	44 56,075	49,956	
20,5	102,7	61,219	38,166	496	48 51,748	50,045	
21,5	99,7	60,459	374	460	52 47,429	144	
22,5	92,3	59,768	663	426	11 56 43,173	318	
23,5	88,1	59,031	38,889	384	12 0 38,877	50,435	
24,5	76,9	58,414	41,260 ¹⁾	347	4 34,694	52,674	
25,5	67,1	57,777	613	313	8 30,481	52,997	
26,5	54,0	57,167	998	272	12 26,395	53,176	

1) Часы R_{81}^* при замене батареи потеряли 2°.

Среднее местное гражд. время 1923 г.	$S - 12^h$	$* - R_{87}^*$ на основании поправок				Веса				Среднее $* - R_{87}^*$	Примечание
		R_{87}^*	R_{85}^{\odot}	R_{81}^*	R_{88}^{\odot}	R_{87}^*	R_{88}^{\odot}	R_{81}^*	R_{86}^{\odot}		
II 20,5	9 ^h 57 ^m 15,19	- 14,855	- 14,834	-	-	1	0,5	-	-	-14,848	
21,5	10 1 11,74	760	749	-	-	1	0,5	-	-	756	
22,5	5 8,30	665	665	- 14,665	-	1	-	-	-	665	*
23,5	9 4,85	571	588	596	-	1	0,5	0,5	-	582	
24,5	13 1,40	478	509	504	-	1	0,5	0,5	-	492	
25,5	16 57,95	390	420	425	-	1	0,5	0,5	-	406	
26,5	20 54,51	318	320	331	-	1	0,5	0,5	-	322	
27,5	24 51,06	226	226	231	-	1	0,5	0,5	-	227	
28,5	28 47,61	132	135	135	-	1	0,5	0,5	-	134	
II 1,5	32 44,16	14,034	14,034	14,034	-	1	-	-	-	14,034	*
2,5	36 40,72	13,926	13,920	13,938	-	1	0,5	0,5	-	13,928	
3,5	40 37,27	817	812	832	-	1	0,5	0,5	-	820	
4,5	44 33,82	706	709	719	-	1	0,5	0,5	-	710	
5,5	48 30,37	596	596	596	-	1	0,5	-	-	596	*
6,5	52 26,92	494	494	494	-	1	0,5	-	-	494	*
7,5	10 56 23,48	375	375	375	-	1	0,5	-	-	375	*
8,5	11 0 20,03	263	266	268	-	1	0,5	0,5	-	265	
9,5	4 16,58	149	148	153	-	1	0,5	0,5	-	150	
10,5	8 13,13	13,033	13,033	13,033	-	1	0,5	-	-	13,033	*
11,5	12 0,68	12,921	12,927	12,925	-	1	0,5	0,5	-	12,924	
12,5	16 6,24	807	812	822	-	1	0,5	0,5	-	812	
13,5	20 2,79	691	694	698	-	1	0,5	0,5	-	694	
14,5	23 59,34	582	582	582	-	1	0,5	-	-	582	*
15,5	27 55,89	466	451	446	-	1	0,5	0,5	-	457	
16,5	31 52,44	347	333	310	-	1	0,5	0,5	-	334	
17,5	35 49,00	238	219	205	-	1	0,5	0,5	-	220	
18,5	39 45,55	12,109	12,117	12,095	-	1	0,5	0,5	-	12,108	
19,5	43 42,10	11,990	11,990	11,990	11,990	1	0,5	-	0,25	11,990	*
20,5	47 38,65	879	879	879	879	1	1	1	0,5	879	*
21,5	51 35,20	766	770	770	768	1	0,5	0,5	0,5	768	*
22,5	55 31,75	655	655	655	655	1	1	1	0,75	655	*
23,5	11 59 28,30	546	546	546	546	1	1	1	1	546	*
24,5	12 3 24,86	419	420	414	419	1	0,5	0,5	0,5	418	
25,5	7 21,41	294	294	294	294	1	1	1	1	11,294	*
26,5	11 17,96	178	178	178	178	1	1	1	1	178	*

Среднее местное гражд. время 1923 г.	$f(H-755,0)$	$\ominus - R_{68}^{\ominus}$	$* - R_{81}^*$	$\ominus - R_{88}^{\ominus}$	Сравнения часов			Среднее местное время 1923 г.	$S-12^h$	$* - R_{67}^*$ на основании поправок				В е с а				Среднее $* - R_{67}^*$	Примечание
					$R_{67}^* - R_{68}^{\ominus}$	$R_{67}^* - R_{81}^*$	$R_{67}^* - R_{88}^{\ominus}$			R_{67}^*	R_{68}^{\ominus}	R_{81}^*	R_{88}^{\ominus}	R_{67}^*	R_{68}^{\ominus}	R_{81}^*	R_{88}^{\ominus}		
III 27,5	- 37,2	+ 56,617	+ 42,442	+ 1 ^m 23,221	12 ^h 16 ^m 22,191	+ 53,518	12 ^h 16 ^m 27,5	12 ^h 15 ^m 14,51	- 11,065	- 11,064	- 11,076	- 11,066	1	0,5	0,5	0,5	- 11,067		
28,5	26,2	55,976	42,785	169	20 17,991	752	20 28,5	19 11,05	10,953	10,955	10,967	10,950	1	0,5	0,5	0,5	10,956		
29,5	21,4	55,235	43,023	112	24 13,685	53,863	24 35,5	23 7,61	840	840	840	840	1	1	1	1	840	*	
30,5	- 11,2	54,584	350	065	28 9,469	54,089	28 39,5	27 4,17	731	715	739	711	1	0,5	0,5	0,5	725		
31,5	0,0	53,950	43,696	23,020	32 5,277	329	32 30,5	31 0,72	623	607	633	598	1	0,5	0,5	0,5	617		
IV 1,5	+ 12,5	53,336	44,067	22,965	36 1,118	592	36 1,5	34 57,27	513	512	525	496	1	1	1	0,5	514		
2,5	19,7	52,640	347	905	39 56,861	748	40 2,5	38 53,82	401	401	401	401	1	1	1	1	401	*	
3,5	29,9	51,981	44,660	862	43 52,654	54,959	44 3,5	42 50,37	293	303	299	282	1	1	1	0,5	296		
4,5	42,7	51,363	45,018	817	47 48,492	55,204	48 4,5	46 46,93	181	199	186	162	1	1	1	0,5	185		
5,5	55,5	50,742	379	767	51 44,311	446	52 5,5	50 43,48	10,065	10,089	10,067	10,065	1	1	1	0,5	10,072		
6,5	67,9	50,118	45,733	711	55 40,092	677	12 56 6,5	54 40,03	9,944	9,944	9,944	9,944	1	1	1	1	9,944	*	
7,5	80,1	49,504	46,120	638	12 59 35,879	55,919	13 0 7,5	12 58 36,58	800	795	799	808	1	1	1	1	800		
8,5	90,4	48,863	475	568	13 3 31,644	56,124	4 8,5	13 2 33,14	655	641	649	650	1	1	1	1	649		
9,5	97,0	48,165	46,767	502	7 27,363	275	8 9,5	6 29,69	508	508	508	508	1	1	1	1	508	*	
10,5	103,1	47,460	47,054	432	11 23,070	420	11 10,5	10 26,24	371	370	366	368	1	1	1	1	369		
11,5	105,5	46,698	277	365	15 18,731	520	15 11,5	24 22,79	235	243	243	242	1	1	1	1	241		
12,5	107,3	45,929	490	297	19 14,376	593	19 12,5	28 19,34	9,097	9,107	9,103	9,094	1	1	1	1	9,100		
13,5	114,1	45,241	47,790	227	23 10,099	748	24 13,5	22 15,90	8,958	8,958	8,958	8,958	1	1	1	1	8,958	*	
14,5	120,7	44,547	48,079	166	27 5,850	912	27 14,5	26 12,45	822	853	833	825	1	1	1	1	833		
15,5	122,7	43,782	289	107	31 1,471	983	31 15,5	30 9,00	687	689	694	697	1	1	1	1	692		
16,5	118,9	42,926	399	22,049	34 57,042	56,955	35 16,5	34 5,55	553	566	556	562	1	1	1	1	559		
17,5	122,4	42,187	637	21,994	38 52,717	57,057	39 17,5	38 2,11	420	420	420	420	1	1	1	1	420	*	
18,5	127,4	41,465	48,920	939	42 48,426	214	43 18,5	41 58,66	293	301	294	290	1	1	1	1	294		
19,5	125,3	40,629	49,079	886	46 44,013	240	47 19,5	45 55,21	168	174	161	166	1	1	1	1	167		
20,5	120,7	39,757	194	836	50 39,567	243	51 20,5	49 51,77	8,042	8,040	8,049	8,029	1	1	1	1	8,040		
21,5	117,3	38,905	331	787	54 35,144	250	55 21,5	53 48,32	7,919	7,919	7,919	7,919	1	1	1	1	7,919	*	
22,5	115,7	38,092	484	750	13 58 30,748	291	13 59 22,5	13 57 44,87	792	786	807	793	1	1	1	1	794		
23,5	113,8	37,276	631	715	14 2 26,362	331	14 1 23,5	14 1 41,42	666	666	700	659	1	0,5	0,5	1	669		
24,5	115,0	36,513	831	684	6 22,006	426	7 24,5	5 37,98	542	513	595	529	0,5	0,5	0,5	1	542		
25,5	111,0	35,669	49,941	654	10 17,574	57,419	11 25,5	9 34,53	- 7,420	- 7,375	- 7,478	- 7,406	0,5	0,5	0,5	1	- 7,417		
26,5	107,1	34,828	50,051	620	13 42,314 ¹⁾	26,575 ¹⁾	14 26,5	13 31,08	+ 23,484 ²⁾	+ 23,594	+ 23,476	+ 23,540	0	0,5	0,5	0,5	+ 23,537		
27,5	109,7	34,086	274	586	17 38,027	664	18 27,5	17 27,64	617	699	610	657	0	0,5	0,5	0,5	23,665		
28,5	102,7	33,190	329	551	21 33,580	566	22 28,5	21 24,19	753	800	763	773	0,5	0,5	0,5	0,5	772		
29,5	94,8	32,284	370	520	25 29,125	480	26 29,5	25 20,74	23,884	23,899	23,890	23,886	0,5	0,5	0,5	0,5	23,890		
30,5	91,0	31,447	479	488	29 24,742	474	30 30,5	29 17,30	24,005	24,005	24,005	24,005	1	1	1	1	24,005	*	

1) Часы R_{67}^* остановились и снова пушены в ход (колпак не вскрывался).

Среднее местное гражд. время 1923 г.	$f(H-755,0)$	$\ominus - R_{68}^{\ominus}$	$* - R_{81}^*$	$\ominus - R_{88}^{\ominus}$	Сравнения часов			Среднее местное время 1923 г.	$S-12^h$	$* - R_{67}^*$ на основании поправок				В е с а				Среднее $* - R_{67}^*$	Примечание
					$R_{67}^* - R_{68}^{\ominus}$	$R_{67}^* - R_{81}^*$	$R_{67}^* - R_{88}^{\ominus}$			R_{67}^*	R_{68}^{\ominus}	R_{81}^*	R_{88}^{\ominus}	R_{67}^*	R_{68}^{\ominus}	R_{81}^*	R_{88}^{\ominus}		
III 27,5	- 37,2	+ 56,617	+ 42,442	+ 1 ^m 23,221	12 ^h 16 ^m 22,191	+ 53,518	12 ^h 16 ^m 27,5	12 ^h 15 ^m 14,51	- 11,065	- 11,064	- 11,076	- 11,066	1	0,5	0,5	0,5	- 11,067		
28,5	26,2	55,976	42,785	169	20 17,991	752	20 28,5	19 11,05	10,953	10,955	10,967	10,950	1	0,5	0,5	0,5	10,956		
29,5	21,4	55,235	43,023	112	24 13,685	53,863	24 35,5	23 7,61	840	840	840	840	1	1	1	1	840	*	
30,5	- 11,2	54,584	350	065	28 9,469	54,089	28 39,5	27 4,17	731	715	739	711	1	0,5	0,5	0,5	725		
31,5	0,0	53,950	43,696	23,020	32 5,277	329	32 30,5	31 0,72	623	607	633	598	1	0,5	0,5	0,5	617		
IV 1,5	+ 12,5	53,336	44,067	22,965	36 1,118	592	36 1,5	34 57,27	513	512	525	496	1	1	1	0,5	514		
2,5	19,7	52,640	347	905	39 56,861	748	40 2,5	38 53,82	401	401	401	401	1	1	1	1	401	*	
3,5	29,9	51,981	44,660	862	43 52,654	54,959	44 3,5	42 50,37	293	303	299	282	1	1	1	0,5	296		
4,5	42,7	51,363	45,018	817	47 48,492	55,204	48 4,5	46 46,93	181	199	186	162	1	1	1	0,5	185		
5,5	55,5	50,742	379	767	51 44,311	446	52 5,5	50 43,48	10,065	10,089	10,067	10,065	1	1	1	0,5	10,072		
6,5	67,9	50,118	45,733	711	55 40,092	677	12 56 6,5	54 40,03	9,944	9,944	9,944	9,944	1	1	1	1	9,944	*	
7,5	80,1	49,504	46,120	638	12 59 35,879	55,919	13 0 7,5	12 58 36,58	800	795	799	808	1	1	1	1	800		
8,5	90,4	48,863	475	568	13 3 31,644	56,124	4 8,5	13 2 33,14	655	641	649	650	1	1	1	1	649		
9,5	97,0	48,165	46,767	502	7 27,363	275	8 9,5	6 29,69	508	508	508	508	1	1	1	1	508	*	
10,5	103,1	47,460	47,054	432	11 23,070	420	11 10,5	10 26,24	371	370	366	368	1	1	1	1	369		
11,5	105,5	46,698	277	365	15 18,731	520	15 11,5	24 22,79	235	243	243	242	1	1	1	1	241		
12,5	107,3	45,929	490	297	19 14,376	593	19 12,5	28 19,34	9,097	9,107	9,103	9,094	1	1	1	1	9,100		
13,5	114,1	45,241	47,790	227	23 10,099	748	24 13,5	22 15,90	8,958	8,958	8,958	8,958	1	1	1	1	8,958	*	
14,5	120,7	44,547	48,079	166	27 5,850	912	27 14,5	26 12,45	822	853	833	825	1	1	1	1	833		
15,5	122,7	43,782	289	107	31 1,471	983	31 15,5	30 9,00	687	689	694	697	1	1	1	1	692		
16,5	118,9	42,926	399	22,049	34 57,042	56,955	35 16,5	34 5,55	553	566	556	562	1	1	1	1	559		
17																			

Среднее местное гражд. время 1923 г.	$\int(H-755,0)$	$\ominus - R_{08}^{\odot}$	$* - R_{81}^*$	$\ominus - R_{06}^{\odot}$	Сравнения часов			Среднее местное гражд. время 1923 г.	$S - 12^h$	$* - R_{07}^*$ на основании поправок				Веса				Среднее $* - R_{07}^*$	Примечание
					$R_{07}^* - R_{05}^{\odot}$	$R_{07}^* - R_{81}^*$	R_{07}^*			R_{07}^*	R_{08}^{\odot}	R_{81}^*	R_{88}^{\odot}	R_{07}^*	R_{08}^{\odot}	R_{81}^*	R_{88}^{\odot}		
V 1,5	+ 93,0	+ 30,725	+ 50,690	+ 1 ^m 21,468	14 33 20,454	+ 26,565	14 33 1,5	14 33 13,85	+ 24,126	+ 24,121	+ 24,125	+ 24,117	1	1	1	1	+ 24,122		
2,5	88,8	29,909	794	457	37 16,064	552	34 2,5	37 10,41	239	255	242	245	1	1	1	1	245		
3,5	84,6	29,095	50,897	446	41 11,706	548	40 3,5	41 6,96	349	349	349	349	1	1	1	1	349	* 1	
4,5	89,1	28,426	51,166	443	45 07,488	708	40 4,5	45 3,52	458	458	458	458	1	1	1	1	458	* 1	
5,5	98,5	27,829	514	441	49 03,345	26,959	40 5,5	49 0,07	566	554	555	567	1	1	1	1	560		
6,5	104,8	27,183	51,806	443	52 59,134	27,141	40 6,5	52 56,62	670	669	665	671	1	1	1	1	669		
7,5	107,3	26,477	52,032	449	14 56 54,879	259	14 7,5	14 56 53,18	773	778	773	785	1	1	1	1	777		
8,5	103,9	25,678	155	459	15 0 50,535	282	15 8,5	15 0 49,73	873	873	873	873	1	1	1	1	873	* 2	
9,5	102,0	24,883	313	471	4 46,224	362	15 9,5	4 46,29	24,970	24,949	24,951	24,981	1	1	1	1	24,963		
10,5	98,9	24,067	448	484	8 41,895	400	10 10,5	8 42,84	25,064	25,012	25,048	25,070	1	1	1	1	25,048		
11,5	94,0	23,220	553	500	12 37,500	398	11 11,5	12 39,40	159	120	155	178	1	1	1	1	148		
12,5	88,3	22,357	647	522	16 33,089	392	11 12,5	16 35,95	251	218	255	266	1	1	1	1	248		
13,5	92,8	21,659	52,921	549	20 28,857	583	11 13,5	20 32,51	338	312	338	355	1	1	1	1	336		
14,5	97,1	20,956	53,192	580	24 24,605	763	11 14,5	24 29,06	421	411	429	417	1	1	1	1	420		
15,5	99,1	20,216	421	613	28 20,334	27,919	11 15,5	28 25,62	502	502	502	502	1	1	1	1	502	* 0,5	
16,5	102,9	19,502	685	664	32 16,092	28,105	11 16,5	32 22,17	580	580	580	580	1	1	1	1	580	* 1,5	
17,5	108,1	18,811	53,975	712	36 11,879	326	11 17,5	36 18,72	649	652	649	645	1	1	1	1	649		
18,5	112,2	18,102	54,246	763	40 7,656	530	11 18,5	40 15,28	716	726	716	714	1	1	1	1	718		
19,5	114,4	17,362	54,483	817	44 3,400	28,699	11 19,5	44 11,84	780	802	784	778	1	1	1	1	786		
20,5	117,0	16,629	56,729 ¹⁾	875	47 59,181	30,892 ¹⁾	11 20,5	48 8,39	841	838	837	832	1	1	1	1	837		
21,5	122,7	15,946	57,027	21,938	51 54,995	31,126	11 21,5	52 4,95	898	901	901	904	1	1	1	1	901	* 1	
22,5	128,8	15,271	329	22,005	55 50,814	370	15 22,5	56 1,50	25,956	25,957	25,959	25,950	1	1	1	1	25,956		
23,5	129,3	14,508	532	075	15 59 46,557	521	16 23,5	15 59 58,06	26,010	26,011	26,011	26,013	1	1	1	1	26,011	* 0,5	
24,5	129,6	13,738	719	135	16 3 42,313	676	16 24,5	16 3 54,61	048	035	043	037	1	1	1	1	041		
25,5	125,5	12,899	57,827	199	7 37,994	31,752	16 25,5	7 51,17	082	075	075	069	1	1	1	1	075	* 1	
26,5	131,2	12,221	58,116	276	11 33,838	32,016	16 26,5	11 47,73	119	113	100	118	1	1	1	1	112		
27,5	140,3	11,598	464	357	15 29,739	320	16 27,5	15 44,28	153	139	144	147	1	1	1	1	146		
28,5	137,7	10,792	604	442	19 25,449	417	16 28,5	19 40,84	185	183	187	205	1	1	1	1	190		
29,5	135,0	9,988	741	531	23 21,179	526	16 29,5	23 37,39	217	199	215	213	1	1	1	1	211		
30,5	136,0	9,246	58,940	625	27 16,954	690	16 30,5	27 33,95	247	242	250	250	1	1	1	1	247		
31,5	141,0	8,569	59,209	724	31 12,802	932	16 31,5	31 30,51	276	277	277	277	1	1	1	1	277	* 1	
VI 1,5	146,9	7,914	486	839	35 8,661	190	16 31,5	35 27,06	304	313	296	307	1	1	1	1	305		
2,5	144,3	7,126	613	22,958	39 4,390	288	16 32,5	39 23,62	332	356	325	334	1	1	1	1	337		
3,5	140,6	6,321	717	23,082	43 0,127	365	16 33,5	43 20,18	359	374	352	370	1	1	1	1	364		
4,5	133,4	5,463	757	211	46 55,807	371	16 34,5	47 16,73	385	386	386	388	1	1	1	1	386	* 0,2	

1) часы R_{81}^* потеряли 2'

Среднее местное гражд. время 1923 г.	$\int(H-755,0)$	$\ominus - R_{08}^{\odot}$	$* - R_{81}^*$	$\ominus - R_{06}^{\odot}$	Сравнения часов			Среднее местное гражд. время 1923 г.	$S - 12^h$	$* - R_{07}^*$ на основании поправок				Веса				Среднее $* - R_{07}^*$	Примечание
					$R_{07}^* - R_{05}^{\odot}$	$R_{07}^* - R_{81}^*$	R_{07}^*			R_{07}^*	R_{08}^{\odot}	R_{81}^*	R_{88}^{\odot}	R_{07}^*	R_{08}^{\odot}	R_{81}^*	R_{88}^{\odot}		
V 1,5	+ 93,0	+ 30,725	+ 50,690	+ 1 ^m 21,468	14 33 20,454	+ 26,565	14 33 1,5	14 33 13,85	+ 24,126	+ 24,121	+ 24,125	+ 24,117	1	1	1	1	+ 24,122		
2,5	88,8	29,909	794	457	37 16,064	552	34 2,5	37 10,41	239	255	242	245	1	1	1	1	245		
3,5	84,6	29,095	50,897	446	41 11,706	548	40 3,5	41 6,96	349	349	349	349	1	1	1	1	349	* 1	
4,5	89,1	28,426	51,166	443	45 07,488	708	40 4,5	45 3,52	458	458	458	458	1	1	1	1	458	* 1	
5,5	98,5	27,829	514	441	49 03,345	26,959	40 5,5	49 0,07	566	554	555	567	1	1	1	1	560		
6,5	104,8	27,183	51,806	443	52 59,134	27,141	40 6,5	52 56,62	670	669	665	671	1	1	1	1	669		
7,5	107,3	26,477	52,032	449	14 56 54,879	259	14 7,5	14 56 53,18	773	778	773	785	1	1	1	1	777		
8,5	103,9	25,678	155	459	15 0 50,535	282	15 8,5	15 0 49,73	873	873	873	873	1	1	1	1	873	* 2	
9,5	102,0	24,883	313	471	4 46,224	362	15 9,5	4 46,29	24,970	24,949	24,951	24,981	1	1	1	1	24,963		
10,5	98,9	24,067	448	484	8 41,895	400	10 10,5	8 42,84	25,064	25,012	25,048	25,070	1	1	1	1	25,048		
11,5	94,0	23,220	553	500	12 37,500	398	11 11,5	12 39,40	159	120	155	178	1	1	1	1	148		
12,5	88,3	22,357	647	522	16 33,089	392	11 12,5	16 35,95	251	218	255	266	1	1	1	1	248		
13,5	92,8	21,659	52,921	549	20 28,857	583	11 13,5	20 32,51	338	312	338	355	1	1	1	1	336		
14,5	97,1	20,956	53,192	580	24 24,605	763	11 14,5	24 29,06	421	411	429	417	1	1	1	1	420		
15,5	99,1	20,216	421	613	28 20,334	27,919	11 15,5	28 25,62	502	502	502	502	1	1	1	1	502	* 0,5	
16,5	102,9	19,502	685	664	32 16,092	28,105	11 16,5	32 22,17	580	580	580	580	1	1	1	1	580	* 1,5	
17,5	108,1	18,811	53,975	712	36 11,879	326	11 17,5	36 18,72	649	652	649	645	1	1	1	1	649		
18,5	112,2	18,102	54,246	763	40 7,656	530	11 18,5	40 15,28	716	726	716	714	1	1	1	1	718		
19,5	114,4	17,362	54,483	817	44 3,400	28,699	11 19,5	44 11,84	780	802	784	778	1	1	1	1	786		
20,5	117,0	16,629	56,729 ¹⁾	875	47 59,181	30,892 ¹⁾	11 20,5	48 8,39	841	838	837	832	1	1	1	1	837		
21,5	122,7	15,946	57,027	21,938	51 54,995	31,126	11 21,5	52 4,95	898	901	901	904	1	1	1	1	901	* 1	
22,5	128,8	15,271	329	22,005	55 50,814	370	15 22,5	56 1,50	25,956	25,957	25,959	25,950	1	1	1	1	25,956		
23,5	129,3	14,508	532	075	15 59 46,557	521	16 23,5	15 59 58,06	26,010	26,011	26,011	26,013	1	1	1	1	26,011	* 0,5	
24,5	129,6	13,738	719	135	16 3 42,313	676	16 24,5	16 3 54,61	048	035	043	037	1	1	1	1	041		
25,5	125,5	12,899	57,827	199	7 37,994	31,752	16 25,5	7 51,17	082	075	075	069	1	1	1	1	075	* 1	
26,5	131,2	12,221	58,116	276	11 33,838	32,016	16 26,5	11 47,73	119	113	100	118	1	1	1	1	112		
27,5	140,3	11,598	464	357	15 29,739	320	16 27,5	15 44,28	153	139	144	147	1	1	1	1	146		
28,5	137,7	10,792	604	442	19 25,449	417	16 28,5	19 40,84	185	183	187	205	1	1	1	1	190		
29,5	135,0	9,988	741	531	23 21,179	526	16 29,5	23 37,39	217	199	215	213	1	1	1	1	211		
30,5	136,0	9,246	58,940	625	27 16,954	690	16 30,5	27 33,95	247</										

Среднее местное время 1923 г.	$f(H-755,0)$	$\ominus - R_{08}^{\odot}$	$* - R_{81}^*$	$\ominus - R_{08}^{\odot}$	Сравнения часов			$S-12^h$	$* - R_{07}^*$ на основании поправок				Веса				Среднее $* - R_{07}^*$	Примечание
					$R_{07}^* - R_{08}^{\odot}$	$R_{07}^* - R_{81}^*$	R_{07}^*		R_{07}^*	R_{08}^{\odot}	R_{81}^*	R_{08}^{\odot}	R_{07}^*	R_{08}^{\odot}	R_{81}^*	R_{08}^{\odot}		
VI 5,5	+ 124,3	+ 4 575	+ 59,765	+ 1 ^m 22,336	16 ^h 50 ^m 51,454	+ 33,361	16 ^h 51 ^m 13,29	+ 26,407	+ 26,411	+ 26,404	+ 26,416	1	1	1	1	+ 26,410		
6,5	117,0	3,717	803	465	54 47,130	376	55 9,84	428	427	427	426	1	1	1	1	427	1	
7,5	112,1	2,892	869	597	16 58 42,846	437	16 59 6,40	446	446	432	451	1	1	1	1	444		
8,5	110,2	2,115	59,987	733	17 2 38,614	549	17 3 2,96	464	461	438	471	1	1	1	1	458		
9,5	110,6	1,375	60,144	23,874	6 34,414	691	6 59,51	483	471	453	486	1	1	1	1	473		
10,5	101,0	+ 0,477	126	24,019	10 30,045	647	10 56,07	503	502	479	510	1	1	1	1	498		
11,5	95,6	- 0,354	181	169	14 25,748	679	14 52,63	524	528	502	534	1	1	1	1	522		
12,5	87,7	1,224	194	323	18 21,413	659	18 49,18	547	543	535	550	1	1	1	1	544		
13,5	80,8	2,079	225	483	22 17,087	651	22 45,74	572	574	574	576	1	1	1	1	574	1	
14,5	78,2	2,855	325	637	26 12,840	732	26 42,30	597	605	593	598	1	1	1	1	598		
15,5	77,8	3,596	466	795	30 8,625	838	30 38,36	624	639	628	634	1	1	1	1	631		
16,5	78,0	4,327	619	24,959	34 4,428	33,964	34 35,41	653	655	655	657	1	1	1	1	655	1	
17,5	81,9	5,006	60,864	25,144	38 0,290	34,150	38 31,97	699	674	714	707	1	1	1	1	698		
18,5	89,5	5,626	61,176	334	41 56,171	393	42 28,52	747	723	783	760	1	1	1	1	753		
19,5	94,6	6,284	446	531	45 52,011	624	46 25,08	797	785	822	815	1	1	1	1	805		
20,5	94,8	7,018	633	732	49 47,780	766	50 21,64	849	842	867	883	1	1	1	1	860		
21,5	94,2	7,764	807	25,940	53 43,531	892	54 18,20	903	905	915	926	1	1	1	1	912		
22,5	90,3	8,561	928	26,153	17 57 39,228	955	17 58 14,75	26,959	26,961	26,973	26,982	1	1	1	1	26,969		
23,5	80,4	9,451	951	373	18 1 34,836	928	18 2 11,31	27,019	27,023	27,023	27,027	1	1	1	1	27,023	1	
24,5	70,4	10,340	963	590	5 30,473	902	6 07,87	068	057	061	073	1	1	1	1	065		
25,5	58,1	11,264	61,935	26,814	9 26,054	828	10 4,42	119	102	107	110	1	1	1	1	110		
26,5	54,1	12,053	62,052	27,044	13 21,782	34,901	14 0,98	172	145	151	152	1	1	1	1	155		
27,5	56,3	12,743	276	279	17 17,588	35,076	17 57,54	226	209	200	208	1	1	1	1	211		
28,5	61,6	13,384	553	521	21 13,443	292	21 54,09	281	263	261	259	1	1	1	1	266		
29,5	66,4	14,033	62,817	27,770	25 9,291	499	25 50,65	335	326	318	319	1	1	1	1	324		
30,5	71,5	14,677	63,082	28,026	29 5,146	695	29 47,21	389	387	387	385	1	1	1	1	387	0,5	
VII 1,5	74,8	15,317	341	315	33 0,964	35,862	33 43,76	475	479	479	483	1	1	1	1	479	1	
2,5	78,7	15,982	565	589	36 56,790	36,036	37 40,32	534	548	529	554	1	1	1	1	541		
3,5	84,9	16,611	63,821	28,867	40 52,662	239	41 36,88	592	607	582	608	1	1	1	1	597		
4,5	93,4	17,205	64,106	29,148	44 48,568	458	45 33,43	648	657	648	651	1	1	1	1	651		
5,5	103,7	17,770	417	434	48 44,516	713	49 29,99	703	704	704	706	1	1	1	1	704	1	
6,5	115,3	18,308	64,742	713	52 40,471	36,976	53 26,55	750	771	766	741	1	1	1	1	757		
7,5	124,9	18,879	65,029	29,995	18 56 36,395	37,197	18 57 23,10	796	826	832	783	1	1	1	1	809		
8,5	131,5	19,498	261	30,279	19 0 32,275	376	19 1 19,66	841	887	885	830	1	1	1	1	861		
9,5	136,3	20,147	457	565	4 28,174	560	5 16,12	884	899	897	877	1	1	1	1	889		

Среднее местное время 1923 г.	$f(H-755,0)$	$\ominus - R_{08}^{\odot}$	$* - R_{81}^*$	$\ominus - R_{08}^{\odot}$	Сравнения часов			$S-12^h$	$* - R_{07}^*$ на основании поправок				Веса				Среднее $* - R_{07}^*$	Примечание
					$R_{07}^* - R_{08}^{\odot}$	$R_{07}^* - R_{81}^*$	R_{07}^*		R_{07}^*	R_{08}^{\odot}	R_{81}^*	R_{08}^{\odot}	R_{07}^*	R_{08}^{\odot}	R_{81}^*	R_{08}^{\odot}		
VI 5,5	+ 124,3	+ 4 575	+ 59,765	+ 1 ^m 22,336	16 ^h 50 ^m 51,454	+ 33,361	16 ^h 51 ^m 13,29	+ 26,407	+ 26,411	+ 26,404	+ 26,416	1	1	1	1	+ 26,410		
6,5	117,0	3,717	803	465	54 47,130	376	55 9,84	428	427	427	426	1	1	1	1	427	1	
7,5	112,1	2,892	869	597	16 58 42,846	437	16 59 6,40	446	446	432	451	1	1	1	1	444		
8,5	110,2	2,115	59,987	733	17 2 38,614	549	17 3 2,96	464	461	438	471	1	1	1	1	458		
9,5	110,6	1,375	60,144	23,874	6 34,414	691	6 59,51	483	471	453	486	1	1	1	1	473		
10,5	101,0	+ 0,477	126	24,019	10 30,045	647	10 56,07	503	502	479	510	1	1	1	1	498		
11,5	95,6	- 0,354	181	169	14 25,748	679	14 52,63	524	528	502	534	1	1	1	1	522		
12,5	87,7	1,224	194	323	18 21,413	659	18 49,18	547	543	535	550	1	1	1	1	544		
13,5	80,8	2,079	225	483	22 17,087	651	22 45,74	572	574	574	576	1	1	1	1	574	1	
14,5	78,2	2,855	325	637	26 12,840	732	26 42,30	597	605	593	598	1	1	1	1	598		
15,5	77,8	3,596	466	795	30 8,625	838	30 38,36	624	639	628	634	1	1	1	1	631		
16,5	78,0	4,327	619	24,959	34 4,428	33,964	34 35,41	653	655	655	657	1	1	1	1	655	1	
17,5	81,9	5,006	60,864	25,144	38 0,290	34,150	38 31,97	699	674	714	707	1	1	1	1	698		
18,5	89,5	5,626	61,176	334	41 56,171	393	42 28,52	747	723	783	760	1	1	1	1	753		
19,5	94,6	6,284	446	531	45 52,011	624	46 25,08	797	785	822	815	1	1	1	1	805		
20,5	94,8	7,018	633	732	49 47,780	766	50 21,64	849	842	867	883	1	1	1	1	860		
21,5	94,2	7,764	807	25,940	53 43,531	892	54 18,20	903	905	915	926	1	1	1	1	912		
22,5	90,3	8,561	928	26,153	17 57 39,228	955	17 58 14,75	26,959	26,961	26,973	26,982	1	1	1	1	26,969		
23,5	80,4	9,451	951	373	18 1 34,836	928	18 2 11,31	27,019	27,023	27,023	27,027	1	1	1	1	27,023	1	
24,5	70,4	10,340	963	590	5 30,473	902	6 07,87	068	057	061	073	1	1	1	1	065		
25,5	58,1	11,264	61,935	26,814	9 26,054	828	10 4,42	119	102	107	110	1	1	1	1	110		
26,5	54,1	12,053	62,052	27,044	13 21,782	34,901	14 0,98	172	145	151	152	1	1	1	1	155		
27,5	56,3	12,743	276	279	17 17,588	35,076	17 57,54	226	209	200	208	1	1	1	1	211		
28,5	61,6	13,384	553	521	21 13,443	292	21 54,09	281	263	261	259	1	1	1	1	266		
29,5	66,4	14,033	62,817	27,770	25 9,291	499	25 50,65	335	326	318	319	1	1	1	1	324		
30,5	71,5	14,677	63,082	28,026	29 5,146	695	29 47,21	389	387	387	385	1	1	1	1	387	0,5	
VII 1,5	74,8	15,317	341	315	33 0,964	35,862	33 43,76	475	479	479	483	1	1	1	1	479	1	
2,5	78,7	15,982	565	589	36 56,790	36,036	37 40,32	534	548	529	554							

Среднее местное гражд. время 1923 г.	$f(H-755,0)$	$\ominus - R_{88}^{\ominus}$	$* - R_{81}^*$	$\ominus - R_{80}^{\ominus}$	Сравнения часов			S-12 ^h	+ - R ₆₇ [*] на основании поправок				Веса				Среднее + - R ₆₇ [*]	Примечание
					$R_{67}^* - R_{68}^{\ominus}$	$R_{67}^* - R_{81}^*$	R_{67}^*		R_{67}^*	R_{88}^{\ominus}	R_{81}^*	R_{80}^{\ominus}	R_{67}^*	R_{88}^{\ominus}	R_{81}^*	R_{80}^{\ominus}		
VII 10,5	+ 144,8	- 20,738	+ 65,714	+ 1 ^m 30,853	19 ^h 8 ^m 24,125	+ 37,808	19 ^h 10 ^m 10,5	19 ^h 9 ^m 12,77	+ 27,926	+ 27,907	+ 27,906	+ 27,913	1	1	1	1	+ 27,913	
11,5	155,9	21,288	66,017	31,142	12 20,075	38,050	14 12,5	13 9,33	27,967	27,967	27,967	27,967	1	1	1	1	27,967	*) 1
12,5	164,5	21,886	285	436	16 15,987	247	15 12,5	17 5,88	28,011	28,007	28,038	28,007	0,5	1	0	1	28,008	
13,5	169,0	22,549	479	31,731	20 11,829	368	21 13,5	21 2,44	055	062	111	050	0,5	1	0	1	056	
14,5	169,6	23,274	603	32,027	24 7,611	414	24 14,5	24 59,00	099	115	189	101	0,5	1	0	1	106	
15,5	167,7	24,039	680	325	28 3,348	411	28 15,5	28 55,55	143	163	269	145	0,5	1	0	1	152	
16,5	168,6	24,760	805	625	31 59,123	451	31 16,5	32 52,11	187	227	354	210	0,5	1	0	1	212	
17,5	172,8	25,428	66,986	32,926	35 54,949	38,547	17 17,5	36 48,67	28,231	28,293	28,439	28,283	0,5	1	0	1	28,277	
18,5	175,0	26,129	67,129	33,229	39 44,733 ¹⁾	32,598 ¹⁾	18 18,5	40 45,22	34,275	34,358	34,531	34,349	0,5	1	0	1	34,338	
19,5	174,5	26,872	223	533	43 40,505	648	19 19,5	44 41,78	319	403	575	385	0,5	1	0	1	379	
20,5	172,7	27,636	292	33,839	47 36,272	705	20 20,5	48 38,33	347	422	587	402	0,5	1	0	1	399	
21,5	167,0	28,461	290	34,146	51 31,979	686	21 21,5	52 34,89	376	450	604	426	0,5	1	0	1	426	
22,5	157,8	29,341	224	455	55 27,629	612	19 22,5	19 56 31,44	405	470	612	454	0,5	1	0	1	451	
23,5	150,4	30,193	188	34,765	19 59 23,308	573	20 23,5	20 0 28,00	434	499	615	475	0,5	1	0	1	476	
24,5	143,7	31,033	160	35,076	20 3 19,001	546	22 24,5	4 24,56	463	526	614	499	0,5	1	0	1	503	
25,5	134,4	31,914	085	388	7 14,657	470	9 25,5	8 21,11	492	539	615	512	0,5	1	0	1	519	
26,5	127,2	32,763	67,043	35,702	11 10,338	429	11 26,5	12 17,67	521	569	614	539	0,5	1	0	1	547	
27,5	118,0	33,642	66,963	36,018	15 5,987	342	17 27,5	16 14,22	550	591	621	567	0,5	1	0	1	573	
28,5	105,2	34,577	816	335	19 1,572	203	21 28,5	20 10,78	579	631	614	593	0,5	1	0	1	606	
29,5	94,2	35,482	696	653	22 57,193	089	23 29,5	24 7,33	608	655	607	617	0,5	1	0	1	630	
30,5	87,4	36,321	646	36,973	26 52,876	32,038	25 30,5	28 3,89	637	693	608	657	0,5	1	0	1	667	
31,5	79,2	37,181	568	37,294	30 48,521	31,960	31 31,5	32 0,44	666	738	608	684	0,5	1	0	1	702	
VIII 1,5	70,6	38,046	477	616	34 44,174	873	32 32,5	35 57,00	695	780	604	723	0,5	1	0	1	740	
2,5	61,0	38,927	365	37,940	38 39,801	760	33 33,5	39 53,55	724	822	605	754	0,5	1	0	1	775	
3,5	48,7	39,849	201	38,265	42 35,441	577	34 34,5	43 50,11	753	820	624	804	0,5	1	0	1	800	
4,5	48,2	40,583	240	591	46 31,245	564	35 35,5	47 46,66	782	832	676	827	0,5	1	0	1	820	
5,5	47,8	41,314	277	38,918	50 27,049	534	36 36,5	51 43,22	811	857	743	854	0,5	1	0	1	847	
6,5	47,0	42,052	304	39,246	54 22,859	491	20 37,5	55 39,77	840	859	813	859	0,5	1	0	1	855	
7,5	47,0	42,775	342	576	20 58 18,673	470	21 38,5	20 59 36,32	869	872	872	875	1	1	0	1	872	*) 1
8,5	47,0	43,478	359	39,911	21 2 14,488	454	38 39,5	21 3 32,88	901	914	905	916	1	1	1	1	909	
9,5	45,7	44,200	351	40,248	6 10,297	418	39 40,5	7 29,43	933	933	933	933	1	1	1	1	933	*) 1
10,5	46,3	44,900	367	584	10 6,127	414	12 41,5	11 25,99	959	963	953	965	1	1	1	1	960	
11,5	38,8	45,727	240	40,921	14 1,824	252	16 42,5	15 22,54	34,985	34,989	38,988	34,990	1	1	1	1	34,988	
12,5	30,1	46,573	093	41,260	17 57,518	088	20 43,5	19 19,10	35,009	35,009	35,005	35,017	1	1	1	1	35,010	
13,5	30,1	47,280	100	600	21 53,340	070	21 44,5	23 15,65	033	030	030	027	1	1	1	1	030	*) 0,5

1) Часы R₆₇^{*} потеряли 6^с; относительные ходы показали изменение хода часов R₆₇^{*} в - 0,016; поправка принята во внимание.

2) После 11. VII помещение под пассажный инструмент ремонтируется. Пассажный инструмент снят и хранится в частях.

Среднее местное гражданское время 1923 г.	$f(H-755,0)$	$\odot - R_{88}^{\odot}$	$* - R_{81}^*$	$\odot - R_{86}^{\odot}$	Сравнения часов			Среднее местное время 1923 г.	$S - 12^h$	$* - R_{67}^*$ на основании поправок				Веса				Среднее $* - R_{67}^*$	Примечание
					$R_{67}^* - R_{68}^{\odot}$	$R_{67}^* - R_{81}^*$	R_{67}^*			R_{67}^*	R_{68}^{\odot}	R_{81}^*	R_{86}^{\odot}	R_{67}^*	R_{68}^{\odot}	R_{81}^*	R_{86}^{\odot}		
VIII 14,5	+ 30,7	- 47,985	+ 66,142	+ 1 ^m 41,936	21 ^h 25 ^m 24 ^s 155	+ 31,061	21 ^h 21 ^m 12,5	21 ^h 27 ^m 12,30	+ 35,059	+ 35,060	+ 35,081	+ 35,055	1	1	1	1	+ 35,064		
15,5	30,3	48,706	170	42,273	29 44,966	056	32 15,5	31 8,76	084	088	114	066	1	1	1	1	088		
16,5	26,3	49,484	66,140	611	33 40,714	31,009	34 10,5	35 5,31	107	112	131	106	1	1	1	1	114		
17,5	+ 5,6	50,526	65,823	42,950	37 36,210	30,676	40 17,5	39 1,86	130	124	147	131	1	1	1	1	133		
18,5	- 8,8	51,470	623	42,290	41 31,798	456	44 18,5	42 58,42	152	152	167	154	1	1	1	1	156		
19,5	15,8	52,296	557	630	45 27,502	385	48 19,5	46 54,97	173	172	172	172	1	1	1	1	172	1	
20,5	19,5	53,064	568	43,972	49 23,259	382	52 20,5	50 51,52	195	197	186	195	1	1	1	1	193		
21,5	26,7	53,888	520	44,316	53 18,964	305	56 21,5	54 48,08	216	228	215	224	1	1	1	1	221		
22,5	28,0	54,620	577	660	21 57 14,773	340	21 59 22,5	21 58 44,63	236	237	237	237	1	1	1	1	237	0,5	
23,5	24,6	55,288	693	44,997	22 1 10,648	445	22 1 23,5	22 1 41,18	252	244	248	248	1	1	1	1	248		
24,5	23,9	56,000	762	45,334	5 6,480	497	7 24,5	6 37,74	267	260	265	265	1	1	1	1	264		
25,5	21,3	56,680	859	45,672	9 2,331	580	11 25,5	10 34,29	281	279	279	277	1	1	1	1	279	1	
26,5	19,2	57,356	65,949	46,017	12 58,181	646	15 26,5	14 30,84	297	303	303	301	1	1	1	1	301		
27,5	17,4	58,036	66,031	363	16 54,046	712	19 27,5	18 27,40	312	318	319	327	1	1	1	1	319		
28,5	13,5	58,683	148	46,709	20 49,925	809	21 28,5	22 23,95	326	342	339	343	1	1	1	1	338		
29,5	13,9	59,398	187	47,055	24 45,733	839	27 29,5	26 20,50	339	369	348	359	1	1	1	1	354		
30,5	9,7	60,040	303	403	28 41,620	30,938	31 30,5	30 17,06	351	400	365	387	1	1	1	1	376		
31,5	5,1	60,675	425	47,751	32 37,510	31,041	35 31,5	34 13,61	362	425	384	397	1	1	1	1	392		
IX 1,5	- 1,5	61,326	526	48,099	36 33,407	131	39 1,5	38 10,16	371	427	395	399	1	1	1	1	398		
2,5	+ 4,7	61,935	669	48,447	40 29,343	263	43 2,5	42 6,71	379	432	406	403	1	1	1	1	405		
3,5	8,1	62,591	761	48,795	44 25,243	353	47 3,5	46 3,26	386	426	408	401	1	1	1	1	405		
4,5	9,5	63,277	815	49,143	48 21,118	401	51 4,5	49 59,82	393	425	414	410	1	1	1	1	410		
5,5	10,5	63,973	860	49,491	52 16,961	440	55 5,5	53 56,37	399	436	420	407	1	1	1	1	414		
6,5	9,7	64,700	870	49,839	22 56 12,788	460	22 59 6,5	22 57 52,92	404	432	410	406	1	1	1	1	413		
7,5	8,3	65,437	867	50,187	23 0 8,623	457	23 1 7,5	23 1 49,47	408	410	410	411	1	1	1	1	410	0,5	
8,5	+ 7,9	66,154	889	50,532	4 4,456	476	7 8,5	5 46,03	412	420	413	419	1	1	1	1	416		
9,5	- 1,1	67,007	759	50,877	8 0,158	340	10 9,5	9 42,58	416	415	419	405	1	1	1	1	414		
10,5	3,4	67,736	745	51,233	11 55,958	329	14 10,5	13 39,13	418	416	416	414	1	1	1	1	416	0,75	
11,5	8,3	68,558	677	51,566	15 51,715	270	18 11,5	17 35,68	409	407	407	404	1	1	1	1	407	1	
12,5	11,5	69,328	637	51,902	19 47,512	244	22 12,5	21 32,23	398	390	393	390	1	1	1	1	393		
13,5	17,0	70,135	557	52,239	23 43,269	175	26 13,5	25 28,79	386	386	382	383	1	1	1	1	384		
14,5	19,2	70,887	537	52,577	27 39,079	163	30 14,5	29 25,34	374	374	374	374	1	1	1	1	374	1	
15,5	- 10,1	71,461	722	52,935	31 35,060	355	34 15,5	33 21,89	376	369	367	377	1	1	1	1	372		
16,5	+ 0,2	72,016	66,929	53,294	35 31,049	563	38 16,5	37 18,44	378	375	366	370	1	1	1	1	372		
17,5	5,3	72,651	67,045	53,655	39 26,966	673	42 17,5	41 14,99	379	373	372	379	1	1	1	1	376		

Среднее местное гражд. время 1923 г.	$f(H-755,0)$	$\ominus - R_{88}^{\odot}$	$* - R_{81}^*$	$\ominus - R_{86}^{\odot}$	С р а в н е н и я ч а с о в			S-12 ^h	* - R ₆₇ [*] на основании поправок				В е с а				Среднее * - R ₆₇ [*]	Примечание.	
					$R_{67}^* - R_{88}^{\odot}$	$R_{67}^* - R_{81}^*$	R_{67}^*		R_{67}^*	R_{68}^{\odot}	R_{81}^*	R_{86}^{\odot}	R_{67}^*	R_{68}^{\odot}	R_{81}^*	R_{86}^{\odot}			
IX 18,5	+ 11,5	- 73,269	+ 67,181	+ 1 ^m 54,017	23 ^h 43 ^m 22,902	+ 31,812	23 ^h 44 ^m 38,5	23 ^h 45 ^m 11,55	+ 35,380	+ 35,379	+ 35,369	+ 35,390	1	1	1	1	+ 35,380		
19,5	21,9	73,818	391	54,379	47 18,904	32,013	30 19,5	49 8,10	380	378	378	377	1	1	1	1	378	*	1
20,5	28,3	74,422	527	54,744	51 14,839	143	34 20,5	53 4,65	375	389	384	379	1	1	1	1	382		
21,5	30,3	75,094	584	55,110	55 10,717	200	23 11 21,5	23 57 1,20	370	389	384	359	1	1	1	1	376		
22,5	29,4	75,812	590	55,477	23 59 6,552	205	0 1 23,5	0 0 57,75	365	386	385	359	1	1	1	1	374		
23,5	26,7	76,557	564	55,844	0 3 2,374	184	1 1 23,5	4 54,30	360	369	380	347	1	1	1	1	364		
24,5	29,0	77,221	624	56,212	6 58,264	250	11 1 24,5	8 50,86	355	375	374	349	1	1	1	1	363		
25,5	35,8	77,814	67,762	56,582	10 54,240	32,404	14 1 25,5	12 47,41	351	356	358	346	1	1	1	1	353		
26,5	46,4	78,347	65,965 ²⁾	56,953	14 50,266	30,618 ²⁾	11 1 26,5	16 43,96	347	347	347	347	1	1	1	1	347	*	1
27,5	56,3	78,889	66,154	57,317	18 46,280	809	22 1 27,5	20 40,51	337	341	345	335	1	1	1	1	340		
28,5	64,6	79,456	313	57,682	22 42,273	30,970	25 1 28,5	24 37,06	327	331	343	321	1	1	1	1	330		
29,5	66,8	80,122	366	58,048	26 38,165	31,017	28 1 29,5	28 33,62	318	333	349	316	1	1	1	1	329		
30,5	58,9	80,948	239	58,414	30 33,903	30,899	31 1 30,5	32 30,17	309	319	340	305	1	1	1	1	318		
X 1,5	56,3	81,691	206	58,781	34 29,726	884	33 1 1,5	36 26,72	300	303	322	292	1	1	1	1	304		
2,5	55,9	82,399	211	59,150	38 25,572	896	41 1 2,5	40 23,27	291	299	315	285	1	1	1	1	298		
3,5	51,2	83,177	141	59,519	42 21,348	833	49 1 3,5	44 19,82	284	295	308	282	1	1	1	1	292		
4,5	48,6	83,922	108	58,889	46 17,166	813	57 1 4,5	48 16,37	278	282	295	280	1	1	1	1	284		
5,5	50,8	84,592	161	60,259	50 13,058	880	59 1 5,5	52 12,92	273	270	281	275	1	1	1	1	275		
6,5	49,8	85,314	158	60,630	54 8,898	890	0 11 6,5	0 56 9,48	269	268	268	266	1	1	1	1	268	*	1
7,5	50,7	86,027	187	60,994	0 58 4,732	902	1 1 7,5	1 0 6,03	282	271	285	280	1	1	1	1	280		
8,5	45,6	86,836	66,111	61,358	1 2 0,451	807	1 1 8,5	4 2,58	296	293	304	306	1	1	1	1	300		
9,5	35,6	87,722	65,951	61,723	5 56,103	30,634	3 1 9,5	7 59,13	312	305	317	321	1	1	1	1	314		
10,5	25,7	88,608	63,793 ²⁾	62,087	9 51,750	28,465 ¹⁾	11 1 10,5	11 55,69	329	332	328	340	1	1	1	1	332		
11,5	+ 8,1	89,618	63,501	62,452	13 47,378	28,157	17 1 11,5	15 52,24	346	344	344	342	1	1	1	1	344	*	1
12,5	- 10,9	90,634	61,203 ²⁾	62,818	17 42,800	25,849 ²⁾	21 1 12,5	19 48,79	352	356	354	338	1	1	1	1	350		
13,5	23,4	91,551	61,019	63,185	21 38,414	669	23 1 13,5	23 45,34	359	375	350	342	1	1	1	1	356		
14,5	30,9	92,390	60,924	63,552	25 34,108	567	29 1 14,5	27 41,90	367	402	357	351	1	1	1	1	369		
15,5	36,1	93,192	869	63,920	29 29,851	499	31 1 15,5	31 38,45	376	407	370	359	1	1	1	1	378		
16,5	38,6	93,952	862	64,288	33 25,631	487	37 1 16,5	35 35,00	386	417	375	371	1	1	1	1	387		
17,5	41,1	94,714	855	64,657	37 21,423	470	41 1 17,5	39 31,55	397	413	385	383	1	1	1	1	394	*	
18,5	41,6	95,445	884	65,027	41 17,241	481	44 1 18,5	43 28,10	410	414	403	400	1	1	1	1	407		
19,5	42,9	96,189	898	65,398	45 13,049	476	48 1 19,5	47 24,66	424	422	422	419	1	1	1	1	422	*	1
20,5	36,8	96,824	61,025	65,775	49 8,954	596	51 1 20,5	51 21,21	438	432	429	440	1	1	1	1	435		
21,5	36,8	97,555	61,044	66,153	53 4,760	595	1 58 21,5	55 17,76	453	445	449	460	1	1	1	1	452		
22,5	44,9	98,410	60,920	66,532	57 0,433	453	2 0 22,5	59 14,32	470	477	467	491	1	1	1	1	476		

1) Часы R₈₁^{*} вытргали 2^o.

Среднее местное гражд. время 1923 г.	$f(H-755,0)$	$\ominus - R_{08}^{\ominus}$	$* - R_{81}^*$	$\ominus - R_{08}^{\ominus}$	С р а в н е н и я ч а с о в			$S - 12^h$	$* - R_{07}^*$ на основании поправок				В е с а				Среднее $* - R_{07}^*$	Примеч. шв.	
					$R_{07}^* - R_{08}^{\ominus}$	$R_{07}^* - R_{81}^*$	R_{07}^*		R_{07}^*	R_{08}^{\ominus}	R_{81}^*	R_{86}^{\ominus}	R_{07}^*	R_{08}^{\ominus}	R_{81}^*	R_{86}^{\ominus}			
23,5	— 55,7	93,315	60,749	+1 ^m 66,912	2 ^h 0 ^m 56,066	+25,260	2 ^h 41 ^m 23,5	2 ^h 3 ^m 10,87	+35,489	+35,489	+35,489	+35,489	1	1	1	1	+35,489	*	0,1
24,5	67,2	100,233	556	67,305	4 51,695	25,059	4 24,5	7 7,42	500	492	497	507	1	1	1	1	499		
25,5	84,9	101,249	60,253	67,697	8 47,315	24,737	22 25,5	11 3,98	512	516	516	520	1	1	1	1	516	*	0,5
26,5	106,0	102,297	59,907	68,090	12 42,691	361	16 26,5	15 0,53	539	542	546	538	1	1	1	1	541		
27,5	117,3	103,190	730	68,483	16 38,327	156	20 27,5	18 57,08	569	563	574	573	1	1	1	*	570		
28,5	117,9	103,915	739	68,878	20 34,128	142	24 28,5	22 53,64	599	597	597	596	1	1	1	1	597	*	0,1
29,5	109,3	104,504	59,913	69,266	24 30,054	281	28 29,5	26 50,19	631	632	632	633	1	1	1	1	632	*	1
30,5	104,6	105,146	60,008	69,655	28 25,927	24,337	32 30,5	30 46,74	668	667	671	666	1	1	1	1	668		
31,5	102,6	105,829	58,055	70,045	32 21,759	22,362 ²⁾	36 31,5	34 43,30	707	712	693	710	1	1	1	1	706		
XI 1,5	98,5	106,478	137	70,435	36 17,622	405	40 1,5	38 39,85	747	750	732	739	1	1	1	1	742		
2,5	95,0	107,137	207	70,826	40 13,475	448	44 2,5	42 36,40	789	788	759	761	1	1	1	1	774		
3,5	92,1	107,804	264	71,217	44 9,399	452	48 3,5	46 32,96	833	857	812	793	1	1	1	1	824		
4,5	100,6	108,652	58,120	71,609	48 4,956	22,264	52 4,5	50 29,51	878	902	856	828	1	1	1	1	866		
5,5	113,3	109,568	57,899	72,001	52 0,541	21,998	56 5,5	54 26,07	925	35,961	901	871	1	1	1	1	914		
6,5	123,5	110,439	726	72,393	55 56,178	779	2 58 6,5	2 58 22,62	35,973	36,003	947	930	1	1	1	1	35,963		
7,5	129,0	111,238	630	72,785	2 59 51,891	634	3 1 7,5	3 2 19,18	36,022	051	35,996	35,992	1	1	1	1	36,015		
8,5	128,3	111,938	642	73,178	3 3 47,705	607	7 8,5	6 15,73	072	087	36,035	36,047	1	1	1	1	060		
9,5	123,5	112,572	725	73,571	7 43,577	639	11 9,5	10 12,28	123	131	086	091	1	1	1	1	108		
10,5	125,9	113,321	679	73,964	11 39,322	523	15 10,5	14 8,84	175	197	156	158	1	1	1	1	172		
11,5	130,9	114,111	587	74,357	15 35,052	383	19 11,5	18 5,39	227	227	204	209	1	1	1	1	217		
12,5	135,4	114,893	502	74,750	19 30,764	21,236	23 12,5	22 1,95	281	293	266	272	1	1	1	1	278		
13,5	148,1	115,807	57,274	75,142	23 26,359	20,942	27 13,5	25 58,50	335	334	332	324	1	1	1	1	331		
14,5	158,5	116,685	55,084	75,534	27 21,985	18,694 ¹⁾	31 14,5	29 55,06	390	390	390	391	1	1	1	1	390	*	1
15,5	162,8	117,475	54,986	75,919	31 17,709	549	35 15,5	33 51,61	439	426	437	428	1	1	1	1	432		
16,5	168,5	118,288	863	76,304	35 13,408	375	39 16,5	37 48,17	489	474	488	475	1	1	1	1	482		
17,5	176,8	119,144	692	76,690	39 9,051	18,147	43 17,5	41 44,72	539	525	545	520	1	1	1	1	532		
18,5	182,8	119,964	562	77,076	43 4,737	17,973	47 18,5	45 41,28	590	579	589	574	1	1	1	1	583		
19,5	185,5	120,733	488	77,463	47 0,469	856	51 19,5	49 37,84	640	638	632	646	1	1	1	1	639		
20,5	185,7	121,464	455	77,851	50 56,237	766	55 20,5	53 34,39	691	689	689	687	1	1	1	1	689	*	0,1
21,5	197,1	122,178	228	78,242	54 51,816	484	3 58 21,5	3 57 30,95	741	756	744	744	1	1	1	1	746		
22,5	203,1	123,210	095	78,635	3 58 47,496	301	4 1 22,5	4 1 27,50	790	794	794	799	1	1	1	1	794	*	0,75
23,5	198,9	123,873	149	79,034	4 2 43,337	313	7 23,5	5 24,06	844	850	836	848	1	1	1	1	844		
24,5	202,4	124,658	54,068	79,434	6 39,051	17,173	11 24,5	9 20,61	898	901	895	896	1	1	1	1	898		
25,5	213,7	125,569	53,850	79,836	10 34,649	16,906	15 25,5	13 17,17	36,952	36,952	36,944	36,952	1	1	1	1	36,950		
26,5	220,2	126,405	715	80,240	14 30,308	713	19 26,5	17 13,73	37,006	37,017	37,002	37,015	1	1	1	1	37,010		

1) Часы R_{81}^* выиграли 2.

Среднее местное время 1923 г.	$f(H-755,0)$	$\ominus - R_{88}^{\ominus}$	$* - R_{81}^*$	$\ominus - R_{86}^{\ominus}$	Сравнения часов			$S-12^h$	$* - R_{87}^*$ на основании поправок				В е с а				Среднее $* - R_{87}^*$	Примечание
					$R_{87}^* - R_{88}^{\ominus}$	$R_{87}^* - R_{81}^*$	R_{87}^*		R_{17}^*	R_{88}^{\ominus}	R_{81}^*	R_{86}^{\ominus}	R_{87}^*	R_{88}^{\ominus}	R_{81}^*	R_{86}^{\ominus}		
XI 27,5	- 228,0	- 127,263	+ 53,558	+ 1 80,644	4 ^m 18 ^m 25,954	+ 16,495	4 22 ^m 27,5	4 21 ^m 10,28	+ 37,060	+ 37,063	+ 37,063	+ 37,066	1	1	1	1	+ 37,063	0,5
28,5	229,7	128,013	504	81,051	22 21,703	383	26 28,5	25 6,84	121	124	121	121	1	1	1	1	122	
29,5	221,6	128,609	621	81,460	26 17,585	439	30 29,5	29 3,40	182	206	182	190	1	1	1	1	190	
30,5	215,1	129,233	709	81,870	30 13,454	471	34 30,5	32 59,95	243	263	238	234	1	1	1	1	244	
XII 1,5	219,6	130,032	604	82,281	34 9,167	302	38 1,5	36 56,51	304	311	302	306	1	1	1	1	306	
2,5	213,6	130,665	683	82,692	38 5,029	317	42 2,5	40 53,06	365	366	366	367	1	1	1	1	366	1
3,5	195,4	131,122	53,977	83,102	42 1,082	544	46 3,5	44 49,62	414	416	433	436	1	1	1	1	425	
4,5	182,9	131,672	54,171	83,513	45 57,036	16,664	50 4,5	48 46,18	37,463	37,472	37,507	37,509	1	1	1	1	37,488	
5,5	176,7	44,323 ²⁾	66,256 ¹⁾	83,925	51 30,903	38,682	54 5,5	52 42,74	27,511 ¹⁾	27,514	27,574	27,587	1	1	1	1	27,546	
6,5	171,0	44,985	332	84,338	55 26,750	731	4 8 6,5	4 56 39,29	559	555	601	615	1	1	1	1	582	
7,5	167,2	45,679	374	84,752	4 59 22,559	757	5 2 7,5	5 0 35,85	607	612	617	651	1	1	1	1	622	
8,5	158,2	46,292	507	85,167	5 3 18,448	859	6 2 8,5	4 32,41	656	670	648	687	1	1	1	1	665	
9,5	148,9	46,902	644	85,583	7 14,348	38,960	10 9,5	8 28,96	705	710	684	720	1	1	1	1	705	
10,5	139,5	47,511	782	86,000	11 10,248	39,053	14 10,5	12 25,52	754	761	729	760	1	1	1	1	751	
11,5	129,9	48,119	66,923	86,419	15 6,152	147	18 11,5	16 22,08	803	809	776	811	1	1	1	1	800	
12,5	116,5	48,669	67,130	86,839	19 2,123	315	22 12,5	20 18,63	852	838	815	850	1	1	1	1	839	
13,5	100,9	49,184	373	87,260	22 58,106	499	26 13,5	24 15,19	901	900	874	904	1	1	1	1	895	
14,5	89,3	49,765	544	87,682	26 54,037	617	30 14,5	28 11,75	950	27,948	927	27,961	1	1	1	1	27,946	
15,5	86,3	50,484	562	88,104	30 49,817	579	34 15,5	32 8,31	27,999	28,009	27,983	28,012	1	1	1	1	28,001	
16,5	93,3	51,362	401	88,527	34 45,446	39,349	38 16,5	36 4,86	28,048	052	28,052	056	1	1	1	1	052	1
17,5	107,9	52,349	67,115	88,955	38 40,950	38,982	42 17,5	40 1,42	108	121	133	105	1	1	1	1	117	
18,5	121,6	53,324	66,841	89,384	42 36,483	657	46 18,5	43 57,98	168	173	184	162	1	1	1	1	172	
19,5	136,7	54,320	540	89,814	46 31,984	300	50 19,5	47 54,54	228	236	240	222	1	1	1	1	232	
20,5	148,0	55,257	304	90,245	50 27,542	38,013	54 20,5	51 51,09	289	291	291	293	1	1	1	1	291	1
21,5	152,1	56,085	186	90,676	54 23,218	37,838	5 57 21,5	55 47,65	347	347	348	348	1	1	1	1	348	
22,5	152,5	56,856	66,130	91,108	5 58 18,946	730	6 1 22,5	5 59 44,21	406	408	400	402	1	1	1	1	404	
23,5	158,2	57,710	65,979	91,540	6 2 14,595	514	5 4 23,5	6 3 40,77	465	465	465	465	1	1	1	1	465	1
24,5	168,7	58,646	729	91,969	6 10,169	212	9 24,5	7 37,32	516	505	517	514	1	1	0,5	1	512	
25,5	179,0	59,579	480	92,399	10 5,743	36,909	11 25,5	11 33,88	567	558	571	572	1	1	0,5	1	566	
26,5	188,2	60,495	247	92,830	14 1,338	613	17 26,5	15 30,44	619	607	634	649	1	1	0,5	1	626	
27,5	196,7	61,400	65,022	93,262	17 56,956	330	21 27,5	19 27,00	671	644	692	703	1	1	0,5	1	675	
28,5	204,5	62,294	64,804	93,694	21 52,568	36,038	25 28,5	23 23,55	724	688	766	741	1	1	0,5	1	725	
29,5	207,4	63,112	665	94,128	25 48,253	35,850	29 29,5	27 20,11	777	745	815	805	1	1	0,5	1	781	
30,5	202,6	63,809	658	94,563	29 44,056	780	33 30,5	31 16,67	829	805	878	856	1	1	0,5	1	837	
31,5	198,6	64,519	64,635	95,000	33 39,835	689	37 31,5	35 13,22	882	866	946	898	1	1	0,5	1	891	

1) Часы R_{81}^* потеряли 12^с.
 2) Часы R_{88}^{\ominus} остановлены на 1^м 28^с.

Среднее местное время 1923 г.	$f(H-755,0)$	$\ominus - R_{88}^{\ominus}$	$* - R_{81}^*$	$\ominus - R_{86}^{\ominus}$	Сравнения часов			$S-12^h$	$* - R_{87}^*$ на основании поправок				В е с а				Среднее $* - R_{87}^*$	Примечание
					$R_{87}^* - R_{88}^{\ominus}$	$R_{87}^* - R_{81}^*$	R_{87}^*		R_{17}^*	R_{88}^{\ominus}	R_{81}^*	R_{86}^{\ominus}	R_{87}^*	R_{88}^{\ominus}	R_{81}^*	R_{86}^{\ominus}		
XI 27,5	- 228,0	- 127,263	+ 53,558	+ 1 80,644	4 ^m 18 ^m 25,954	+ 16,495	4 22 ^m 27,5	4 21 ^m 10,28	+ 37,060	+ 37,063	+ 37,063	+ 37,066	1	1	1	1	+ 37,063	0,5
28,5	229,7	128,013	504	81,051	22 21,703	383	26 28,5	25 6,84	121	124	121	121	1	1	1	1	122	
29,5	221,6	128,609	621	81,460	26 17,585	439	30 29,5	29 3,40	182	206	182	190	1	1	1	1	190	
30,5	215,1	129,233	709	81,870	30 13,454	471	34 30,5	32 59,95	243	263	238	234	1	1	1	1	244	
XII 1,5	219,6	130,032	604	82,281	34 9,167	302	38 1,5	36 56,51	304	311	302	306	1	1	1	1	306	
2,5	213,6	130,665	683	82,692	38 5,029	317	42 2,5	40 53,06	365	366	366	367	1	1	1	1	366	1
3,5	195,4	131,122	53,977	83,102	42 1,082	544	46 3,5	44 49,62	414	416	433	436	1	1	1	1	425	
4,5	182,9	131,672	54,171	83,513	45 57,036	16,664	50 4,5	48 46,18	37,463	37,472	37,507	37,509	1	1	1	1	37,488	
5,5	176,7	44,323 ²⁾	66,256 ¹⁾	83,925	51 30,903	38,682	54 5,5	52 42,74	27,511 ¹⁾	27,514	27,574	27,587	1	1	1	1	27,546	
6,5	171,0	44,985	332	84,338	55 26,750	731	4 8 6,5	4 56 39,29	559	555	601	615	1	1	1	1	582	
7,5	167,2	45,679	374	84,752	4 59 22,559	757	5 2 7,5	5 0 35,85	607	612	617	651	1	1	1	1	622	
8,5	158,2	46,292	507	85,167	5 3 18,448	859	6 2 8,5	4 32,41	656	670	648	687	1	1	1	1	665	
9,5	148,9	46,902	644	85,583	7 14,348	38,960	10 9,5	8 28,96	705	710	684	720	1	1	1	1	705	
10,5	139,5	47,511	782	86,000	11 10,248	39,053	14 10,5	12 25,52	754	761	729	760	1	1	1	1	751	
11,5	129,9	48,119	66,923	86,419	15 6,152	147	18 11,5	16 22,08	803	809	776	811	1	1	1	1	800	
12,5	116,5	48,669	67,130	86,839	19 2,123	315	22 12,5	20 18,63	852	838	815	850	1	1	1	1	839	
13,5	100,9	49,184	373	87,260	22 58,106	499	26 13,5	24 15,19	901	900	874	904	1	1	1	1	895	
14,5	89,3	49,765	544	87,682	26 54,037	617	30 14,5	28 11,75	950	27,948	927	27,961	1	1	1	1	27,946	
15,5	86,3	50,484	562	88,104	30 49,817	579	34 15,5	32 8,31	27,999	28,009	27,983	28,012	1	1	1	1	28,001	
16,5	93,3	51,362	401	88,527	34 45,446	39,349	38 16,5	36 4,86	28,048	052	28,052	056	1	1	1	1	052	1
17,5	107,9	52,349	67,115	88,955	38 40,950	38,982	42 17,5	40 1,42	108	121	133	105	1	1	1	1	117	
18,5	121,6	53,324	66,841	89,384	42 36,483	657	46 18,5</											

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МАНОМЕТРИЧЕСКОЙ ТРУБКИ.

И. В. Мещерский.

Временный Манометрический Комитет при Главной Палате мер и весов, при всестороннем рассмотрении вопроса о манометрах, не мог оставить без внимания теорию манометрической трубки; по поручению Комитета и составлен настоящий очерк.

Главное место отведено здесь работам Н. Lorenz'a; его предшественниками были: Hill, Rayleigh, Worthington, отчасти Greenhill, но их статьи давали теоретическое объяснение только самого факта раскручивания трубки при увеличении давления, тогда как работы Н. Lorenz'a имеют своей целью установить формулы, позволяющие рассчитать трубку, т. е. вычислить величину напряжений в стенке трубки и угол раскручивания, соответствующий данному увеличению давления.

§ 1. Работы Hill'a, Rayleigh'a и Worthington'a. Возможность применения металлической трубки для измерения давлений была открыта случайно. По словам Bourdon'a в его сообщении Обществу Гражданских Инженеров в 1851 г. это открытие произошло таким образом: Bourdon'у попался змеевик;

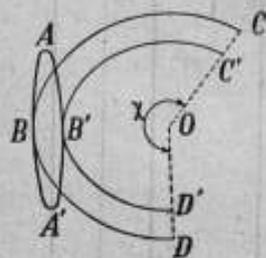


Рис. 1.

мастер, которому было поручено изогнуть цилиндрическую трубку по винтовой линии, неудачно произвел операцию, — он сплющил значительную часть трубки; тогда для того, чтобы ее выправить, один конец трубки закрыли, а другим концом соединили ее с нагнетательным насосом и пустили воду; когда форма трубки была восстановлена, увидели, что трубка сама собой развернулась на некоторый угол; в результате тут же явилась мысль использовать замеченное свойство трубки для устройства прибора, который служил бы для измерения давлений.

Первое теоретическое рассмотрение Бурдоновской трубки принадлежит, насколько мне известно, Е. Hill'у.

В своей статье „Bourdon's Metallic Barometer“, (Messenger of Mathematics, p. 15, 1872) Hill рассматривает трубку эллиптического сечения, согнутую по дуге круга; из трубки выкачан воздух, и она находится под внешним давлением.

Рассуждение Hill'a, когда мы применим его к манометрической трубке, испытывающей внутреннее давление, представится в следующем виде.

Допускаем: во 1-х, что внутреннее давление ¹⁾ стремится увеличить малую ось эллипса BB' (рис. 1); во 2-х, что при деформации длина трубки остается неизменною: дуги CBD и $CB'D'$ сохраняют свою длину.

¹⁾ Говоря о внутреннем давлении, мы везде разумеем избыток внутреннего давления над внешним (атмосферным) давлением.

Пусть большая ось AA' эллиптического сечения трубки параллельна ее оси проходящей через центр O ; обозначим через R, r, χ радиусы OC, OC' и угол COB до деформации, через R', r', χ' — после деформации; имеем:

$$R\chi = R'\chi', \quad r\chi = r'\chi',$$

следовательно,

$$(R - r)\chi = (R' - r')\chi';$$

отсюда, обозначая через b малую полуось эллипса, получаем:

$$b\chi = b'\chi';$$

так как $b' > b$, то $\chi' < \chi$; таким образом мы приходим к заключению, что трубка должна уменьшить свою кривизну: она должна выпрямиться.

Далее, полагая: $b' = b + x$ и $\chi' = \chi - \alpha$, имеем:

$$b\chi = (b + x)(\chi - \alpha).$$

Откуда, пренебрегая членом αx , получаем $\alpha\chi = \alpha b$, следовательно,—

$$\alpha = \frac{x}{b} \cdot \chi;$$

находим изменение угла в зависимости от изменения малой оси; но этот вывод теряет свою ценность вследствие того, что изменение малой оси остается неизвестным; по Hill'у отсюда следует, что чувствительность прибора возрастает с увеличением угла χ и потому целесообразно придать трубке форму круглой спирали.

Если мы предположим, что оси трубки параллельна малая ось ее эллиптического сечения, то из рассуждения Hill'a вытекает, что при увеличении давления кривизна трубки будет увеличиваться, т. е. трубка будет закручиваться.

В случае кругового сечения трубки кривизна ее не меняется, — такая трубка для измерения давлений служить не может.

Таким образом рассуждение Hill'a дает только элементарное объяснение факта изменения кривизны эллиптической трубки в зависимости от давления.

Через шестнадцать лет Rayleigh, в статье: „On the Bending and Vibration of thin elastic Shells, especially of cylindrical Form“ (Proceedings of Royal Society of London, vol. 45, p. 105, 1888) на стр. 121 объясняет выпрямление Бурдоновской трубки с эллиптическим сечением при увеличении внутреннего давления, исходя из известной теоремы Гаусса: при изгибе нерастяжимой поверхности произведение главных кривизн остается постоянным; считая, как и Hill, трубку нерастяжимой и имея увеличение кривизны сечения на внешнем конце малой оси, мы получим уменьшение кривизны трубки и, следовательно, ее раскручивание; но сам же Rayleigh указывает, что в стенке трубки должны существовать натяжения; его особенно смущают концы большой оси, и он предлагает трубку, сечение которой состоит из двух симметричных дуг, соединенных концами под углом, не равным 180° .

В 1890 г. в „Nature“ появились две статьи, посвященные трубке Бурдона, под одним и тем же заглавием: „Bourdon's Pressure Gauge“: первая (стр. 296) принадлежит Worthington'у, вторая (стр. 517) — Greenhill'у.

Worthington не упоминает о своих предшественниках. Он рассматривает согнутую по дуге круга трубку с прямоугольным сечением, длинная сторона которого параллельна оси трубки; при этом различает стенки трубки и ее основания; считается очевидным, что внешняя стенка растягивается, внутренняя — сжимается.

Пусть конец трубки A (рис. 2) закреплен, конец B свободен; возьмем сечение C ; представим себе, что жидкость, заполняющая часть трубки CB , затвердела; приложенные к ней силы: натяжение T —на внешней стенке, сжатие R —на внутренней и гидростатическое давление P —в центре тяжести сечения; для равновесия необходимо чтобы:

$$T = P + R,$$

и мы получаем, таким образом пару сил, которая, очевидно, стремится повернуть трубку в сторону выпуклости т. е. выпрямить ее; трубка разворачивается, но этому разворачиванию противодействует сопротивление оснований трубки,—разворачивание остановится, когда момент сопротивления оснований будет равен изгибающему моменту; чем выше стенки, чем они толще и ближе друг к другу, тем меньше влияние оснований и, следовательно, тем чувствительнее трубка к изменениям давления.

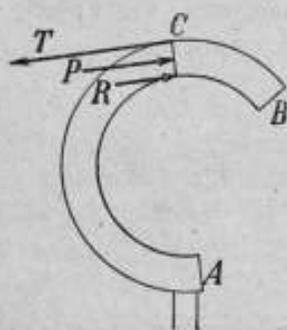


Рис. 2.

Greenhill в своей статье дает краткий обзор того, что сделано Hill'ом, Rayleigh'ем и Worthington'ом; мы видели, что все эти работы выясняют только качественную сторону явления,—они не указывают пути для получения численных результатов; необходима количественная теория, и Greenhill только отмечает большую математическую трудность, с которой мы встретимся при исследовании количественной стороны изгиба

трубки эллиптического сечения, но сам он ничего не дает, говоря, что „долго еще придется ждать количественной теории Бурдоновской трубки“.

В 1909 г. вышла диссертация G. Klein'a: „Untersuchung und Kritik der Hochdruckmessern“; по видимому, она не содержит теоретической разработки вопроса: в последующих теоретических работах Lorenz'a и Kármán'a о ней не упоминается, а в только что появившейся статье Wohlfarth'a (Zeitschrift für Technische Physik, № 9, S. 361, 1924), где есть упоминание о диссертации G. Klein'a, как теоретические исследования указываются только статьи Lorenz'a; нет теоретической разработки и в статье G. Klein'a: „Der Genauigkeitsgrad von Hochdruckmessern“ (Zeitschrift d. Vereines deut. Ing., B. 54, S. 791, 1910).

§ 2. Первая формула Н. Lorenz'a. Разработка количественной теории манометрической трубки принадлежит Н. Lorenz'у; он посвятил этому вопросу две статьи под одним и тем же заглавием: „Theorie der Röhrenfedermanometer“, разделенные промежутком в семь лет: первая статья появилась в Zeitschrift d. Ver. deut. Ing. в 1910, вторая—в Physikalische Zeitschrift в 1917 г.

В первой статье (Z. d. Ver. d. Ing., B. 54, S. 1865) Lorenz не принимает во внимание касательных напряжений,—этими напряжениями обыкновенно пренебрегают при рассмотрении изгиба брусков.

Lorenz выделяет из стенки трубки прямоугольный элемент, ограниченный двумя меридиональными плоскостями, и рассматривает нормальные напряжения: σ' ; лежащие в плоскостях параллельных кругов т. е. в плоскостях, перпендикулярных к оси трубки, и σ'' , лежащие в меридиональных плоскостях (рис. 3 стр. 122); σ' он называет кольцевыми напряжениями,—эти напряжения для нас особенно важны, так как они определяют изгибающий момент; σ'' он называет меридиональными напряжениями¹⁾.

¹⁾ Здесь взяты те обозначения напряжений σ' и σ'' , которые употребляет Lorenz во второй статье; в первой—у него σ' обозначает меридиональные напряжения, а σ'' —кольцевые.

Составляем два уравнения для определения величины σ' и σ'' .
 Одно уравнение:

$$\frac{\sigma'}{\rho'} + \frac{\sigma''}{\rho''} = \frac{p}{h} \dots \dots \dots (1)$$

где ρ' и ρ'' — радиусы кривизны нормальных сечений, h — толщина стенки и p — давление, имеет место для стенки какой угодно формы; оно получается из того условия, что напряжения σ' и σ'' уравновешиваются гидростатическим давлением p .

Второе уравнение, определяющее σ'' , получается из условия равновесия кольца, заключающегося между двумя плоскостями, перпендикулярными к оси трубки OZ (рис. 4), из которых одна касательная к контуру сечения в его вершине B , другая проходит через рассматриваемую точку A :

$$\sigma'' = \frac{p}{2h} \cdot \frac{r^2 - r_0^2}{r \cos \varphi} \dots \dots \dots (2)$$

где r и r_0 суть расстояния точек A и B от оси трубки, а φ угол, образуемый касательной к меридиональной кривой с осью трубки.

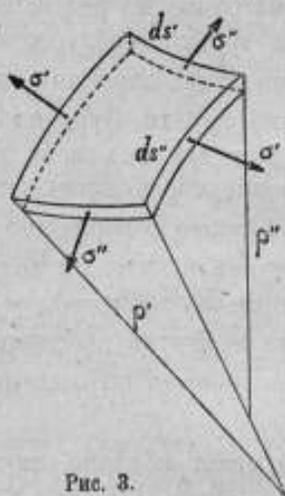


Рис. 3.

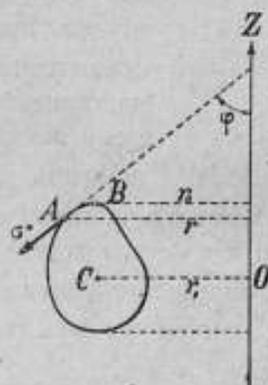


Рис. 4.

Получаемые таким образом из формул (1) и (2) выражения σ' и σ'' имеют место для всех меридиональных сечений, так как трубка изогнута по дуге окружности.

Находим затем момент напряжений σ' относительно оси, проведенной параллельно оси OZ через центр тяжести C площади сечения; это и будет изгибающий момент M ; обозначая через r_1 расстояние точки C от оси OZ , получаем:

$$M = p \int (r - r_1) r ds - \frac{p}{2} \int (r^2 - r_0^2) \frac{dr}{ds} ds \dots \dots \dots (3)$$

где интегралы взяты по контуру сечения.

Пусть будут ρ_0 и ρ радиусы осевой линии трубки, т. е. линии центров ее сечений (рис. 5) до и после изгиба, χ_0 и χ — соответствующие углы раскрытия трубки; тогда, принимая во внимание, что напряжение по всему контуру меридионального сечения равно pF , где F — площадь сечения, имеем:

$$\chi \rho = \chi_0 \rho_0 \left(1 + \frac{pF}{Ehs} \right) \dots \dots \dots (4)$$

где E — модуль упругости материала трубки и s — длина контура сечения.

Берем затем обычное выражение изгибающего момента:

$$M = E \theta \left(\frac{I}{\rho} - \frac{I}{\rho_0} \right),$$

где θ — момент инерции площади поперечного сечения стенки; с помощью этого выражения исключаем p из ур. (4) и находим изменение угла χ :

$$\chi - \chi_0 = \chi \left(\frac{p_0 M}{E \theta} + \frac{p P}{E h s} \right) \dots \dots \dots (5)$$

Формула (5) и есть первая формула Логенз'а.

Момент M здесь должен быть выражен по формуле (3); так как он пропорционален давлению p , то из формулы (5) мы видим, что изменение угла χ пропорционально давлению p , — обстоятельство весьма важное для трубки, как измерительного прибора; эта пропорциональность сохраняется и в том случае, если толщина стенки h будет переменной. В статье Wohlfarth'a: „Neuzeitliche Druckmessungen unter besonderer Berücksichtigung der Schreibmanometer“ (Zeitschrift für Techn. Physik, № 9, S. 361, 1924) приведены результаты опытов, произведенных в Blancke-Werken (Merseburg) над манометрами; на одном из чертежей мы видим, что для стальной трубки наблюдается совершенно точная пропорциональность для давлений до $15 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ — это существенное преимущество трубки Бурдона перед упругой пластинкой, для которой, как мы видим на другом чертеже в той же статье, пропорциональность наблюдается только для давлений не свыше $3 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$, а далее совершенно отсутствует.

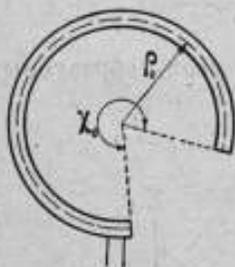


Рис. 5.

Далее Логенз детально рассматривает случай эллиптического сечения с полуосями a и b ; вследствие симметрии в этом случае $r_0 = r_1 = r_0$.

Логенз определяет напряжения σ' и σ'' ; то и другое пропорционально величине $\frac{p}{2 h a^2}$, причем коэффициенты пропорциональности выражаются только через величины: r , r_0 , a и b .

Наибольшее кольцевое напряжение испытывает волокно, проходящее через внешние концы малых осей, для которых $r = r_0 + b$:

$$\sigma'_{max} = \frac{p}{2 h a^2} [2 r_0 (a^2 - b^2) + b (2 a^2 - b^2)];$$

это выражение позволяет по данному наибольшему давлению p и размерам: r_0 , a , b определить наименьшую допускаемую толщину стенки трубки из данного материала, так как σ'_{max} не должно превосходить предела пропорциональности.

Наименьшее кольцевое напряжение испытывает волокно, проходящее через внутренние концы малых осей, для которых $r = r_0 - b$:

$$\sigma'_{min} = \frac{p}{2 h a^2} [-2 r_0 (a^2 - b^2) + b (2 a^2 - b^2)];$$

мы видим, что при

$$r_0 > \frac{1}{2} b \left(1 + \frac{a^2}{a^2 - b^2} \right)$$

$\sigma'_{min} < 0$, следовательно, во всех случаях, встречающихся в практике, это волокно испытывает сжатие.

В случае кругового сечения $a = b$ и $\sigma' = p \frac{a}{2 h}$; следовательно, при постоянной толщине h кольцевое напряжение во всех точках меридионального контура одно и то же; поэтому изгибающий момент равен нулю, и трубка с круговым сечением не может служить для измерения давлений, что было уже предусмотрено Hill'ом.

Для величины изгибающего момента в случае эллиптического сечения получается следующее приближенное выражение:

$$M = -p ab \pi \left(1 - \frac{b^2}{a^2}\right) r_0;$$

таким образом момент M не зависит от толщины стенки h .

* Если мы устроим трубку так, что ее оси будет параллельна не большая, а малая ось эллиптического сечения, выражения кольцевого напряжения и изгибающего момента изменяют свои знаки, следовательно, внешние волокна будут испытывать сжатие, внутренние — натяжение, и трубка будет закручиваться, что также было указано Hill'ом.

Для изменения угла χ_0 , когда большая ось эллипса параллельна оси трубки, получаем, как первое приближение, после замены в правой части равенства (5) χ через χ_0 :

$$\chi_0 - \chi = \chi_0 p \frac{\pi ab}{E \Theta} r_0^2 \left(1 - \frac{b^2}{a^2}\right) \dots \dots \dots (6)$$

где момент инерции Θ может быть вычислен по формуле:

$$\Theta = h \pi b^2 \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{2}} \left[1 + \frac{1}{4} \frac{a^2 - b^2}{a^2 + b^2} - \frac{1}{16} \frac{(a^2 - b^2)^2}{(a^2 + b^2)^2} + \dots \dots \dots \right].$$

Формула (6) и есть первая формула Lorenz'a для эллиптического сечения.

В качестве примера Lorenz берет трубку, для которой $a = 1$ см, $b = 0,3$ см, $\rho_0 = 6$ см, $h = 0,02$ см, $p_{max} = 2 \frac{кг}{см^2}$, $E = 800000 \frac{кг}{см^2}$, $\sigma'_{max} = 600 \frac{кг}{см^2}$ и, применяя формулу (6), получает:

$$\frac{\chi_0 - \chi}{\chi_0} = 0,00792 p,$$

откуда при $\chi_0 = 300^\circ$ следует: $\chi_0 - \chi = 2,376 p$ градусов.

В том же 1910 г. в Zeitschrift d. Ver. d. Ing. были опубликованы измерения, произведенные инженером Bantlin'ом над трубами; они показали, что изгиб труб в действительности значительно превосходит тот изгиб, который получается на основании известной формулы, выведенной для брусков.

Th. Kármán дал теоретическое объяснение этого факта в следующем году в статье: „Ueber die Formänderung dünnwandiger Röhre insbesondere federnder Ausgleichröhre“ (Zeitschrift d. Ver. d. Ing., B. 55, S. 1889, 1911) для труб с круговым сечением.

Применяя теорему о минимуме работы при деформации поперечного сечения и затем метод Ritz'a, Kármán пришел к заключению, что в обычной формуле для изгибающего момента:

$$M = E \Theta \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} \right)$$

для труб с круговым сечением момент инерции Θ должен быть заменен через Θk , где множитель:

$$k = 1 - \frac{9}{10 + 12 \left(\frac{h \rho_0}{R^2} \right)^2},$$

причем h обозначает толщину стенки и R — средний радиус сечения трубы.

Kármán для того, чтобы применить полученную им формулу к вышеупомянутому численному примеру Lorenz'a, заменяет эллипс кругом радиуса, равного полусумме полуосей, и находит $k = 0,18$, а потому изменение угла: $\chi_0 - \chi$ получается в $5\frac{1}{2}$ раз больше, чем у Lorenz'a; но, очевидно, число

Kármán'a является совершенно необоснованным, так как Лоренцовский эллипс, эксцентриситет которого больше 0,95, очень далек от круга.

§ 3. Вторая формула Н. Lorenz'a. После работ Bantlin'a и Kármán'a Lorenz в статье: „Die Biegung krummer Röhre“ (Physikalische Zeitschrift, S. 768, 1912), рассмотрел изгиб труб в более общем виде: предполагая, что поперечное сечение трубы имеет две оси симметрии, он привнес во внимание, кроме нормальных напряжений, и те касательные напряжения, нормальные к поверхности, которые появляются при изменении формы сечения; эта статья вошла затем в изданную им в 1913 году книгу „Technische Elastizitätslehre“, S. 302.

Применение этой более общей теории изгиба труб к манометрической трубке Lorenz изложил в 1917 г. в статье: „Theorie der Röhrenfedermanometer“ (physikalische Zeitschrift, S. 117, 1917).

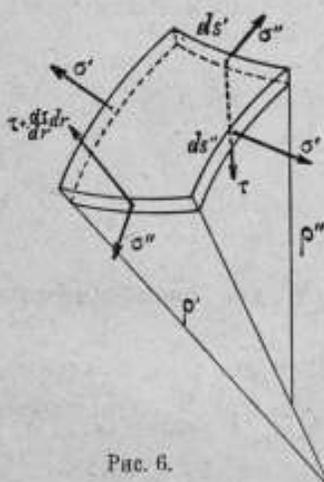


Рис. 6.

Для определения нормальных напряжений σ' и σ'' и касательного напряжения τ , нормального к поверхности трубки (черт. 6), необходимо иметь три уравнения.

Уравнения (1) и (2) при существовании касательных напряжений τ представляются в виде:

$$\frac{\sigma'}{r'} + \frac{\sigma''}{r''} - \frac{d(\tau r)}{dr} \cdot \frac{\sin \varphi}{r} = \frac{p}{h}$$

$$\sigma'' \cos \varphi - \tau \operatorname{tg} \varphi = \frac{p(r^2 - r_0^2)}{2hr}$$

Для получения третьего уравнения предполагаем, что сечение трубки симметрично относительно двух взаимно перпендикулярных осей, из которых одна параллельна оси трубки; тогда в точках контура, для

которых угол φ равен $0, \frac{\pi}{2}, \pi$ и $3 \frac{\pi}{2}$, напряжение τ должно быть равно нулю; поэтому мы можем произведение τr представить в виде ряда с неопределенными коэффициентами:

$$\tau r = \cos \varphi (A_1 \sin \varphi + A_2 \sin 3 \varphi + \dots)$$

удерживая для первого приближения только первый член ряда, мы получаем третье уравнение:

$$\tau r = \frac{1}{2} A \sin 2 \varphi$$

Составляем выражение работы деформации L и из условия ее минимума:

$$\frac{dL}{dA} = 0$$

определяем величину A ; после этого находим изгибающий момент M , а затем из уравнения:

$$\chi - \chi_0 = \frac{dL}{dM} = \frac{dL}{dp} \cdot \frac{dp}{dM}$$

находим изменение угла χ .

Мы получаем:

$$A = - \frac{p C_2 h}{C_3 h^2 + C_4}$$

$$M = p \left(C_0 - \frac{C_2 s_1 h^2}{C_3 h^2 + C_4} \right)$$

$$\chi - \chi_0 = \chi \frac{p}{Eh} \frac{C_1 (C_3 h^2 + C_4) - C_2^2 h^2}{C_0 (C_3 h^2 + C_4) - C_2 s_1 h^2} \dots \dots \dots (7)$$

Формула (7) и есть вторая формула Lorenz'a.

Входящие в эти выражения величины: C_1, C_2, C_3, C_4, C_0 и s_1 суть величины постоянные для данной трубки; они представляют значения некоторых интегралов, распространенных по контуру сечения трубки.

Введя для краткости обозначения:

$$m = \frac{r}{\cos \varphi} \left(1 - \frac{r^2 - r_0^2}{2 r \rho'' \cos \varphi} \right), \quad n = \frac{r^2 - r_0^2}{2 r \cos \varphi},$$

имеем ¹⁾:

$$C_1 = \int (m^2 + n^2 - \frac{2mn}{\mu}) r ds, \text{ где } \frac{1}{\mu} - \text{коэффициент Пуассона,}$$

$$C_2 = \int \left[-m \left(\frac{\cos \varphi}{\rho''} + \frac{\sin^2 \varphi}{\mu r} \right) + n \left(\frac{\sin^2 \varphi}{r} + \frac{\cos \varphi}{\mu \rho''} \right) \right] r da$$

$$C_3 = \int \left[\frac{\cos^2 \varphi}{\rho''^2} + \frac{\sin^2 \varphi (1 + \cos^2 \varphi)}{r^2} + \frac{2 \sin^2 \varphi}{\mu r} \left(\frac{\cos \varphi}{\rho''} + \frac{\cos^2 \varphi}{r} \right) \right] r da$$

$$C_4 = 12 \int \frac{1}{r} \Phi^2 ds, \text{ где } \Phi = \int \sin \varphi \cos \varphi ds,$$

$$C_0 = \int \left[r^2 - r_0 r - \frac{r^2 - r_0^2}{2} \left(\frac{dr}{dx} \right)^2 \right] dx$$

$$S_1 = - \int r \cos \varphi d\varphi.$$

Формула (7) показывает так же, как и формула (5), что изменение угла раствора трубки пропорционально давлению p .

Получив формулу (7), Логенз не применяет ее к случаю эллиптического сечения; для этого случая он берет свою первую формулу — формулу (6), и с помощью ее вычисляет изменения угла χ для трех манометров фирмы Schäffer & Budenberg, для которых наибольшие давления суть: для первого (I): 1, для второго (II): 6 и для третьего (III): 12 килограммов на квадратный сантиметр.

Принимая $E = 10^6 \frac{кг}{см^2}$ и $\chi_0 = 270^\circ$, Логенз находит для изменения угла χ , рассчитанного на единицу давления, т. е. для $\frac{\chi_0 - \chi}{p}$, следующие числа (в градусах):

$$I \dots 0,982 \quad II \dots 0,766 \quad III \dots 0,578$$

тогда как в действительности манометры дают:

$$I \dots 4,575 \quad II \dots 0,896 \quad III \dots 0,454.$$

Мы видим, что для первого манометра формула дает число в 4,8 раз меньше действительного числа; — заметим, что если бы мы ввели множитель Кэгман'a, заменивши эллипс кругом радиуса, равного полусумме полуосей, мы получили бы $k = 0,2$ и, следовательно, изменение угла χ по формуле оказалось бы в 5 раз больше, т. е. весьма близко к действительному; для второго и третьего манометров отклонения разных знаков и сравнительно не велики.

Полученные отклонения могут происходить или оттого, что взята для расчета не вторая формула, а первая, — „man hierfür auf die strengere Formel (7) zurückgreifen müsste“ — говорит Логенз, или вследствие других причин и прежде всего вследствие того, что при деформации нарушается симметрия поперечного сечения.

Для того, чтобы оценить значение первой причины, а вместе с тем и влияние касательных напряжений τ на деформацию трубки, необходимо найти приближенные величины постоянных C с различными значками и s_1 для эллиптического сечения; — эта работа и соответствующие вычисления выполнены Н. Е. Кочиним.

¹⁾ В статье Логенз'a в выражениях C_2 и C_3 вклялись опечатки: в выражении C_2 во вторых скобках стоит: $\frac{\sin^2 \varphi}{r} - \frac{\cos \varphi}{\mu \rho''}$ и в выражении C_3 в прямых скобках: $\frac{\cos^2 \varphi}{\rho''^2} + \frac{\sin^2 \varphi}{r^2} + \frac{\sin^2 \varphi}{\mu r} \left(\frac{2 \cos \varphi}{\rho''} - \frac{\cos^2 \varphi}{r} \right)$.

Возьмем за переменную интегрирования величину ψ , определяемую уравнениями:

$$r = r_0 + b \cos \psi, \quad z = a \sin \psi;$$

тогда, обозначая через e эксцентриситет эллипса и полагая:

$$\Delta = \sqrt{1 - e^2 \sin^2 \psi},$$

имеем:

$$ds = a \Delta d\psi, \quad \cos \varphi = \frac{\cos \psi}{\Delta}, \quad \sin \varphi = \frac{b}{a} \frac{\sin \psi}{\Delta}, \quad \frac{1}{\rho^2} = \frac{b}{a^2 \Delta^3}.$$

Считая, что a и b малы в сравнении с r_0 , мы можем в разложении интегралов по убывающим степеням r_0 взять для эллипсов с большим эксцентриситетом один первый член.

Вводим обозначения эллиптических интегралов:

$$E_1 = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \Delta d\psi, \quad F_1 = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\psi}{\Delta},$$

значение которых находятся по таблицам.

Указанные ниже пределы погрешности относятся к тем случаям, когда $\frac{a}{r_0} < \frac{1}{5}$, $\frac{b}{a} < \frac{1}{3}$, следовательно, $e > 0,94$.

В интеграле C_1 главное значение имеет член, содержащий m^2 ; приближенное значение m будет:

$$m = \frac{r_0 \Delta}{\cos \psi} \left(1 - \frac{b^2}{a^2 \Delta^2} \right) = \frac{r_0 e^2 \cos \psi}{\Delta}$$

поэтому:

$$C_1 = \int m^2 r ds = a r_0^3 e^4 \int_0^{2\pi} \frac{\cos^2 \psi}{\Delta} d\psi = 4 a r_0^3 e^2 [E_1 - (1 - e^2) F_1] \quad (\text{предел погрешн.: } 1,5\%)$$

Далее:

$$C_2 = - \int \frac{m \cos \varphi}{\rho^2} r ds = - \frac{b}{a} r_0^2 e^2 \int_0^{2\pi} \frac{\cos^2 \psi}{\Delta^3} d\psi = - \pi r_0^2 e^2 \quad (\text{предел погрешн.: } 0,5\%)$$

$$C_3 = \int \frac{\cos^2 \varphi}{\rho^2} r ds = \frac{r_0 b^2}{a^3} \int_0^{2\pi} \frac{\cos^2 \psi}{\Delta^3} d\psi = \frac{r_0}{a} \left(\frac{4(9 - 8e^2)(E_1 - F_1)}{15e^2} + \frac{8(3 - 2e^2)[E_1 - (1 - e^2)F_1]}{15e^2(1 - e^2)} \right) \quad (\text{предел погрешн.: } 3\%)$$

Для вычисления C_4 нужно предварительно найти Φ :

$$\Phi = \int \cos \varphi \sin \varphi ds = b \int \frac{\sin \psi \cos \psi}{\Delta} d\psi = \frac{b}{e^2} (-\Delta + \delta_0);$$

постоянную δ_0 определим из условия:

$$\int \frac{1}{r} \Phi ds = 0$$

или приближенно:

$$\int \Phi ds = 0;$$

получаем:

$$\delta_0 = \frac{\pi(2 - e^2)}{4 E_1};$$

тогда:

$$C_4 = 12 \int \frac{1}{r} \Phi^2 ds = \frac{12 ab^2}{r_0 e^4} \left(\int_0^{2\pi} \Delta^3 d\psi - 2 \delta_0 \int_0^{2\pi} \Delta^2 d\psi + \delta_0^2 \int_0^{2\pi} \Delta d\psi \right) = \frac{16 ab^2}{r_0 e^4} \left[(4 - 2e^2) E_1 - (1 - e^2) F_1 - \frac{1}{16} \frac{\pi^2 (2 - e^2)^2}{E_1} \right] \quad (\text{предел погрешн.: } 0,5\%)$$

Интегралы C_0 и s_1 вычисляются точно:

$$C_0 = \pi a b r_0 e^2$$

$$s_1 = -\frac{b^2}{a} \int_0^{2\pi} \frac{\cos^2 \psi}{\Delta^3} d\psi = -\frac{4 b^2}{a e^2} (F_1 - E_1).$$

С помощью найденных значений постоянных по второй формуле Logenz'a— по формуле (7)— вычисляем величины изменения угла χ , рассчитанные на единицу давления $\frac{\kappa^2}{\text{см}^2}$, т. е. $\frac{\chi_0 - \chi}{p}$ для манометров I, II и III, получаем:

$$\text{I} \dots 0,986 \quad \text{II} \dots 0,736 \quad \text{III} \dots 0,547$$

пределы погрешности этих чисел:

$$\text{I} \dots 1,5\% \text{ или } 0,015 \quad \text{II} \dots 3,2\% \text{ или } 0,024 \quad \text{III} \dots 3,5\% \text{ или } 0,020$$

Более точное вычисление по первой формуле — по формуле (6) — дает числа, несколько отличающиеся от чисел Logenz'a, а именно:

$$\text{I} \dots 0,974 \quad \text{II} \dots 0,769 \quad \text{III} \dots 0,575.$$

Мы видим, что разности между величинами изменения угла χ , вычисленными по первой и по второй формуле Logenz'a, настолько малы, что их можно считать заключающимися в пределах погрешности.

Не трудно убедиться в том, что вообще при эксцентриситетах больше 0,94 формулы Logenz'a, первая и вторая, в первом приближении дают для изменения угла χ величины, которые не могут различаться более, чем на $10^0/6$; если мы возьмем случай, где эксцентриситет меньше, например, $e = 0,866$, то, полагая в сантиметрах: $a = 0,8$, $b = 0,4$, $r_0 = 5,5$, $h = 0,05$, $\chi = 270^\circ$ и $E = 10^\circ$, мы получим для $\frac{\chi_0 - \chi}{p}$ по первой формуле значение 0,344, по второй значение 0,334; — разница находится в пределах погрешности.

Мы приходим таким образом к заключению, что при больших эксцентриситетах, — а такие эксцентриситеты мы имеем в практических случаях, — касательные напряжения τ оказывают ничтожное влияние на деформацию трубки.

Основное предположение при выводе формул (6) и (7) состояло в том, что форма поперечного сечения трубки сохраняет симметрию по отношению к двум перпендикулярным осям и после деформации; — в этом предположении, по всей вероятности, и лежит причина той разницы, которая обнаруживается между вычисленными и наблюдаемыми величинами изменения угла χ вообще и особенно велика в случае трубки, рассчитанной на давление в один κ на κ см: при деформации трубки симметрия нарушается, и нарушение симметрии должно быть особенно значительно в случае тонкостенной трубки, — обстоятельство, которое Logenz считает „nicht unwahrscheinlich“.

Вторая формула Logenz'a, уступая первой в отношении простоты, не дает заметного приближения к действительности. Для более полной оценки значения первой формулы было бы желательно сравнить ее результаты с показаниями манометров в тех случаях, когда они рассчитаны на более высокие давления, — выше $12 \frac{\kappa^2}{\text{см}^2}$.

ЭТАЛОН МЕЖДУНАРОДНОГО ВОЛЬТА.

М. Ф. Маликов.

§ 1. Международные электрические единицы. Современная практическая электрометрия основана на постановлениях Международной Конференции об электрических единицах и эталонах, состоявшейся в Лондоне в 1908 г. Главнейшая задача этой конференции заключалась в выработке строгих и ясных определений основных электрических единиц и установление единообразных технических приемов для их практического осуществления, в целях обеспечения во всем мире действительного единообразия электрических измерений.

Лондонская Конференция приняла следующие постановления:

Конференция полагает, что основные электрические единицы должны по прежнему определяться по электромагнитной системе мер, построенной на сантиметре, как единице длины, грамме, как единице массы, и секунде, как единице времени.

Эти основные единицы суть: 1) *ом* — единица электрического сопротивления, равная 1.000.000.000 с. г. с. единиц, 2) *ампер* — единица силы тока, равная 0,1 с. г. с. единиц, 3) *вольт* — единица электродвижущей силы, равная 100.000.000 с. г. с. единиц и 4) *ватт* — единица мощности, равная 10.000.000 с. г. с. единиц.

В качестве системы единиц, воспроизводящей вышеуказанные единицы с достаточным для электрических измерений приближением, и в качестве основы для законодательства Конференция рекомендует принять международный ом, международный ампер, международный вольт и международный ватт.

Международный ом есть сопротивление, оказываемое неизменяющемуся электрическому току при температуре таящего льда ртутным столбом, имеющим массу 14,4521 грамма, повсюду одинаковое сечение и длину 106,300 сантиметра.

Международный ампер есть сила неизменяющегося электрического тока, который, проходя через водный раствор азотнокислого серебра, отлагает 0,00111800 грамма серебра в секунду.

Международный вольт есть электрическое напряжение, которое в проводнике, имеющем сопротивление в один международный ом, производит ток силой в один международный ампер.

Международный ватт есть энергия, расходуемая в одну секунду неизменяющимся электрическим током силой в один международный ампер при электрическом напряжении в один международный вольт.

Для осуществления международного ома в виде ртутных эталонов и международного ампера по серебряному вольтметру Конференция дала руководящие указания (спецификации), в качестве приложения к указанным определениям. При выработке этих спецификаций был учтен предшествующий опыт национальных метрологических лабораторий и их методы работы, при чем спецификация для ртутных эталонов была разработана достаточно подробно, спецификация же для серебряного вольтметра намечена только в общих чертах.

Одним из боевых вопросов, обсуждавшихся Конференцией, был вопрос о том, какие две электрические единицы принять в качестве первичных, т. е. каким двум единицам дать независимые определения. Относительно выбора международного ома в качестве первой единицы не было сомнения. Ом может непосред-

ственно выражаться в абсолютной мере, его ртутные образцы представляют из себя точные и надежные первичные эталоны; вторичные эталоны — проволочные катушки — являются удобными рабочими образцами. Зато вопрос о выборе второй основной единицы вызвал оживленные прения; спор шел об ампере и вольте. С. А. Соединение Штаты и Франция высказались в пользу вольта, указывая на то, что в смысле конкретности эталон ампера уступает эталону вольта — нормальным элементам, составляющим вследствие своей портативности и удобства обращения, необходимую принадлежность точной электроизмерительной работы, чего нельзя сказать про серебряный вольтметр. Кроме того и в смысле достоверности измерений нормальные элементы стояли на первом месте, можно было готовить целые группы их с расхождением между элементами в сотых долях вольта, между тем как серебряные вольтметры давали в десять раз меньшую точность. Не смотря на это большинство государств высказалось в пользу ампера, отчасти потому, что ампер, подобно ому, можно непосредственно выразить в абсолютной мере при помощи ампер-весов или электродинамометра, отчасти по историческим мотивам: серебряный вольтметр уже раньше занимал место второго эталона, и наконец благодаря тому, что серебряный вольтметр считался большинством членов Конференции значительно более простым и удобным прибором для установления второй основной единицы, чем нормальный элемент с его сложным химическим составом.

Таким образом по определению международный вольт является производной единицей. Но каков бы ни был способ определения электрических единиц, практическая электрометрия не может обойтись без эталона электродвижущей силы. По существу дела эталона, в обычном смысле слова, для единицы силы тока быть не может, серебряный вольтметр не постоянный прибор, он действует только во время прохождения тока. Нет также и вторичного эталона силы тока, подобного катушкам сопротивления. Практика знает один только способ хранения международного ампера: при помощи нормальных элементов в соединении с образцовыми сопротивлениями, для хранения международного вольта непосредственно служат нормальные элементы. Нормальные элементы и образцовые катушки сопротивления необходимы также и для самых точных измерений напряжения и силы тока посредством компенсационного метода.

В качестве эталона международного вольта Лондонская Конференция 1908 г. рекомендовала нормальный элемент Вестона, изготавливаемый согласно данной для него спецификации. Его электродвижущая сила должна быть установлена в полном соответствии с определением международного вольта, т. е. через международный ом и международный ампер. Со времени Конференции — определения электродвижущей силы нормального элемента Вестона, произведенные по серебряному вольтметру в различных лабораториях, давали расхождения в десятичных долях вольта, вследствие этого Конференция, не имея точных данных, временно приняла для электродвижущей силы число: 1,0184 межд. вольта при 20°C ., представляющее среднее арифметическое из величин, полученных в 1906—1908 г.г. в Национальной Физической Лаборатории (National Physical Laboratory) в Англии (1,01843) и в Государственном Физико-Техническом Институте (Physikalisch-Technischen Reichsanstalt) в Германии (1,01834).

Для установления более точной величины электродвижущей силы нормального элемента Вестона, а равно для скорейшей выработки подробной спецификации для серебряного вольтметра, Конференция образовала Международный Научный Комитет по электрическим единицам и эталонам, которому было поручено также закончить работу Конференции¹⁾. К обязанностям Комитета относи-

¹⁾ Международный Научный Комитет должен был кроме того выполнить организационную работу по учреждению Постоянной Международной Комиссии по электрическим эталонам, к которой должны были перейти его функции; эта Комиссия так и не была учреждена.

лось руководство совместной работой метрологических лабораторий по взаимному сравнению эталонов различных стран, их хранению и установлению единообразных величин (включая периодический пересмотр величины электродвижущей силы нормального элемента Вестона). Научный Комитет организовал специальную техническую комиссию из представителей национальных метрологических лабораторий Англии (National Physical Laboratory), Германии (Physikalisch-Technischen Reichsanstalt), Франции (Laboratoire Central d'Electricité) и С.-А. Соединенных Штатов (Bureau of Standards), которая работала в Вашингтоне в Bureau of Standards в апреле и мае 1910 г. Представители Европейских лабораторий привезли с собой свои серебряные вольтметры, нормальные элементы и манганиновые копии эталонов сопротивления. Нормальные элементы и катушки сопротивления всех четырех участвовавших в работе лабораторий были сравнены между собой с возможной точностью; серебряные вольтметры различной конструкции включались в одну и ту же цепь при различных условиях опыта.

В результате этой международной работы была установлена электродвижущая сила нормального элемента Вестона в 1,0183 международного вольта при 20°C с точностью до $\frac{1}{10000}$ вольта; при этом за единицу сопротивления было взято среднее из величин английского и немецкого омов.

К тому времени (1910 г.) не было еще ртутных образцов международного ома, изготовленных согласно спецификации Лондонской Конференции 1908 г. Они были изготовлены в более позднее время в России, Англии, Франции, С.-А. Соединенных Штатах и Японии. Эти образцы отличаются от Вашингтонской единицы сопротивления не более, чем на 2×10^{-5} ома. Кроме того работа Вашингтонской Комиссии не привела к установлению окончательной спецификации для серебряного вольтметра; оставались еще некоторые невыясненные вопросы, требовавшие дальнейших исследований. Поэтому всякое новое определение величины электродвижущей силы нормального элемента Вестона по ртутным образцам, изготовленным согласно спецификации Лондонской Конференции 1908 г., и по серебряному вольтметру, установленному в соответствии с окончательной спецификацией, принятой по международному соглашению, дает другое число, более точно отвечающее международному вольту и отличающееся от найденного Вашингтонской Комиссией, тем более, что дальнейшее усовершенствование техники приготовления нормальных элементов также может отразиться на величине электродвижущей силы, даваемой элементами. Однако, можно утверждать, что эта разница не превышает одной десятичной вольта, так что величина международного вольта нам достоверно известна во всяком случае до 0,01%.

Установленная Вашингтонской Комиссией электродвижущая сила нормального элемента Вестона официально принята всеми странами с 1 января 1911 г.

Электродвижущая сила нормальных элементов обычно выражается шестью значущими цифрами, т.-е. до 1×10^{-5} вольта, поэтому, для устранения неопределенности, необходимо писать шесть цифр и в формально установленной величине электродвижущей силы нормального элемента Вестона, т.-е. принять условно круглое число 1,0183 за точную величину электродвижущей силы элемента и писать 1,01830, с добавлением нуля после цифры 3, аналогично численному обозначению величин, входящих в определения международного ома и ампера, где числа 103,6 и 0,001118 заменены числами 103,600 и 0,00111800 с целью показать, что эти числа следует считать не приближенными, а точными, независимыми от дальнейших экспериментальных работ в области абсолютных единиц.

Международный вольт, представленный нормальными элементами Вестона с только что указанной электродвижущей силой (1,01830), следует назвать „вольтом 1910 г.“.

Нормальные элементы Вестона играют важную роль в деле установления и хранения международных электрических единиц.

Вместе с ртутными образцами международного ома они составляют два основных эталона, на которых базируется практическая электрометрия. Международный ампер, вопреки своему определению, как второй основной единицы, осуществляемой определенным методом измерения, в действительности играет роль вспомогательной величины для установления электродвижущей силы нормальных элементов и контроля над ее постоянством. Изготовление ртутных образцов международного ома и нормальных элементов Вестона в соответствии с спецификациями Лондонской Конференции 1908 года и является главной задачей центральных метрологических лабораторий в деле установления основ современной международной электрометрии.

§ 2. Нормальный элемент Вестона. В спецификации Лондонской Конференции о нормальном элементе Вестона говорится следующее:

Нормальный элемент Вестона есть гальванический элемент с электролитом в виде насыщенного водного раствора сернокислого кадмия ($CdSO_4 \cdot \frac{8}{3} H_2O$).

Электролит должен быть нейтральным по отношению к красной бумажке Конго.

Положительным электродом элемента служит ртуть.

Отрицательным электродом служит кадмиевая амальгама, состоящая из 12,5 частей по весу кадмия в 100 частях амальгамы.

Деполаризатор, расположенный в соприкосновении с положительным электродом, представляет пасту, приготовленную из смеси сернокислой закиси ртути с размельченными кристаллами сернокислого кадмия и его водного насыщенного раствора.

Различные способы приготовления сернокислой закиси ртути описаны в отдельной записке¹⁾; одним из этих способов и надлежит пользоваться.

Самой удобной формой элемента считается форма *H*. Проводники, проходящие сквозь стекло к электродам, должны быть приготовлены из платиновой проволоки, которая не должна касаться электролита. Амальгама помещается в одной ветви элемента, ртуть — в другой.

Деполаризатор помещается над ртутью, и в каждую ветвь вводится слой кристаллов сернокислого кадмия. Элемент наполняется насыщенным раствором сернокислого кадмия и затем герметически закупоривается²⁾.

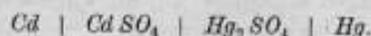
Для определения электродвижущей силы элемента при различных температурах между 0° и 40° С рекомендуется следующая формула:

$$E_t = E_{20} - 0,0000406 (t - 20^\circ) - 0,00000095 (t - 20^\circ)^2 + 0,00000001 (t - 20^\circ)^3.$$

Нормальный элемент Вестона подвергался всестороннему изучению весьма многими учеными. Особенно обширные исследования были произведены в национальных лабораториях Германии, Англии, Франции и С.-А. Соединенных Штатов в эпоху, предшествующую Лондонской Конференции 1908 года и непосредственно следующую за ней. На основании этих исследований составлена упоминаемая в спецификации записка о способах приготовления материалов, входящих в состав нормального элемента и об их снаряжении. Исследования выяснили основные свойства нормальных элементов, обуславливающие их роль в качестве надежного эталона международного вольта. Остались еще не выясненными некоторые темные вопросы, касающиеся главным образом физико-химической стороны дела; дальнейшее исследование нормальных элементов составляет очередную работу метрологических лабораторий, занимающихся их приготовлением.

¹⁾ Эта записка опубликована в виде приложения к протоколу Конференции (см. литературу).

²⁾ Таким образом нормальный элемент Вестона составлен по схеме:



Этот элемент обладает обратимостью, по крайней мере при весьма слабых токах, что является существенным требованием, предъявляемым к нормальному элементу.

В задачи настоящей статьи не входит рассмотрение подробностей изготовления нормальных элементов; они будут описаны и освещены в особой статье в одном из следующих выпусков «Временника» в связи с новыми работами Главной Палаты по изготовлению нормальных элементов. Заметим только, что эта работа очень сложна и трудна; успех ее зависит от опыта и искусства экспериментатора, приобретаемых им после долгих усилий, а также от надлежащего приспособления лаборатории для ее выполнения.

Все попытки приготовления нормальных элементов в непригодной лаборатории обыкновенно приводят к неудовлетворительным результатам: получаются недолговечные элементы, обладающие непостоянством электродвижущей силы и ее большими отклонениями от нормы.

Перейдем к краткому описанию нормальных элементов Вестона. Главный интерес заключается в материалах, входящих в состав элемента. В спецификации Лондонской Конференции о них мало говорится. Она составлена в слишком общей форме.

Процессы работы в различных лабораториях в некоторых отношениях отличаются друг от друга и спецификацию даже приходится несколько видоизменять на основании работ, сделанных после Конференции 1908 г.

Составными частями нормального элемента являются: вода, ртуть, кадмий, амальгама кадмия, сернистый кадмий, сернистая соль закиси ртути и паста.

Вода для элементов употребляется дважды дистиллированная и затем еще раз перегнанная в платиновом кубе.

Ртуть очищается кислотами (чаще всего каплями прогоняется через столб 10% раствора соляной кислоты и такой же столб 10% раствора азотной кислоты) или электролитически (ртуть служит анодом, платиновый листочек — катодом, 2% раствор азотной кислоты — электролитом); затем она промывается дистиллированной водой и перегоняется несколько раз в пустоте или в приборе с продуванием воздуха по способу Hulett'a и Minchin'a.

Кадмий. Кадмием можно пользоваться даже продажным; чистый металл получается либо перегонкой под уменьшенным давлением по способу Morse и Jones'a, либо электролитически, осаждением из чистого раствора сернокадмиевой соли.

Амальгама кадмия. Состав амальгамы кадмия оказывает большое влияние на поведение элементов при изменении температуры; в настоящее время этот вопрос можно считать выясненным. Еще в 1902 году Bijl (в Амстердаме) начал изучать амальгамы кадмия. Затем этот вопрос основательно изучил F. E. Smith в Национальной Физической Лаборатории в 1908—10 гг. Из работы F. E. Smith'a, как и из работы Bijl'a, можно заключить, что электродвижущая сила постоянна в том случае, когда амальгама состоит из двух фаз: твердой и жидкой. Из опытов F. E. Smith'a далее следует, что рекомендованная спецификацией Лондонской Конференции 1908 г. 12,5%-ая амальгама может оказаться целиком из одной твердой фазы при температуре ниже 10° С, и у элементов с такой амальгамой будет наблюдаться более высокая, чем следует, электродвижущая сила при температурах, ниже указанной. F. E. Smith поэтому рекомендует заменить 12,5%-ую амальгаму 10%-ой, которая остается двухфазной в температурном промежутке между 0° и 51° С. Cohen рекомендует амальгаму даже с еще меньшим содержанием кадмия, а именно 8%-ую амальгаму, которую он считает наиболее пригодной для температурного промежутка между —4° и 40° С. Однако наблюдения W. Jaeger'a и H. v. Steinwehr'a в P. T. Reichsanstalt'e подтверждают полную пригодность для нормальных элементов 12,5%-ой амальгамы.

Амальгама кадмия готовится двумя способами: нагреванием кадмия и ртути на водяной бане или электролитически. В последнем случае анодом служит толстая кадмиевая палочка, катодом — чистая ртуть, а электролитом — раствор сернистого кадмия, слегка подкисленный серной кислотой. Последний способ

предпочтительней первого, так как он не требует предварительной очистки продажного кадмия.

Сернокислый кадмий готовится перекристаллизацией продажной „химически чистой“ соли $CdSO_4 + \frac{8}{3}H_2O$. Перекристаллизовать ее следует при температуре не выше $70^\circ C$, так как выше этой температуры соль кристаллизуется в виде моногидрата.

Сернокислая закись ртути. Приготовление сернокислой соли закиси ртути представляет наиболее трудный и ответственный момент в деле приготовления нормальных элементов. От этого зависит их постоянство и точность воспроизведения. Эта соль должна быть совершенно освобождена от всякого излишка кислоты; следы кислоты влияют на электродвижущую силу в сторону ее уменьшения. С другой стороны, отмывка следов кислоты водой ведет к гидролизу соли, что также влияет на электродвижущую силу, но уже в обратную сторону, повышая ее. Равным образом влияют на свойства элемента примеси, встречающиеся в „химически чистой“ продажной соли; повидимому, без влияния не остается и размер кристаллов соли. Поэтому продажную соль нельзя употреблять и ее следует готовить в лаборатории.

Способам приготовления сернокислой закиси ртути посвящено наибольшее число экспериментальных работ, относящихся к нормальным элементам; при пользовании некоторыми из них получаются одинаковые результаты. Наиболее удобным способом, дающим однородный продукт, является осаждение сернокислой закиси ртути химическим путем из раствора азотно-ртутной соли в горячей серной кислоте. Продукт промывается насыщенным раствором серно-кадмиевой соли и до введения в элементы сохраняется под этим раствором. Из других способов укажем электролитический: ртуть служит анодом, платиновый листок — катодом, электролитом — раствор серной кислоты (одна часть по объему кислоты на 5 частей воды). Ввиду того, что сернокислая соль закиси ртути подвержена действию света, ее приготовление должно производиться в слабоосвещенной комнате, а сама соль хранится в темноте.

Паста готовится из смеси сернокислой закиси ртути и четверти ее объема размельченных кристаллов сернокислого кадмия. В пасту рекомендуется прибавлять также небольшое количество (около 10% по весу) чистой ртути, чтобы предохранить соли закиси ртути от перехода в соли окиси ее, при химически приготовленной соли такая прибавка не оказывает влияния на электродвижущую силу элемента.

На рис. 1 изображен нормальный элемент Вестона. Платиновые проволоки внутри сосуда амальгамируются при помощи электрического тока, идущего от платинового анода через подкисленный раствор азотно-ртутной соли к каждой из амальгируемых проволок, служащих в это время катодом. Затем сосуд дважды промывается разбавленной азотной кислотой и несколько раз — дистиллированной водой и высушивается в сушильном шкафу. Амальгама расплавляется и ее поверхность покрывается разбавленной серной кислотой; посредством пипетки амальгама вводится в одну из ветвей *E* в таком количестве, чтобы совершенно покрыть амальгмированную платиновую проволоку; для освобождения от следов кислоты амальгама снова расплавляется и промывается дистиллированной водой. В другую ветвь — *D* вводится ртуть также в количестве, достаточном

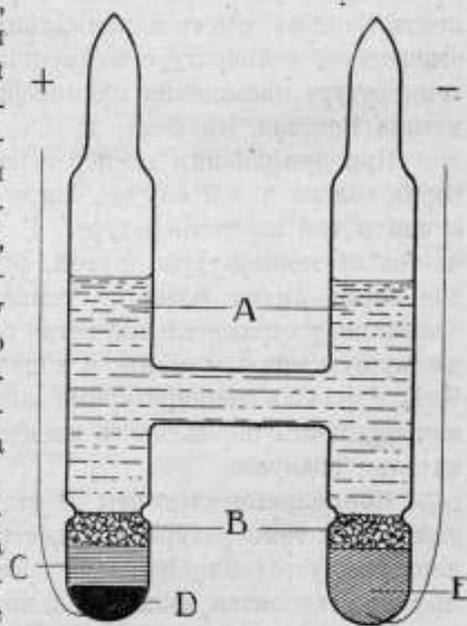


Рис. 1.

для полного покрытия амальгамированной платиновой проволоки. Затем в последовательном порядке вводятся паста — *C*, размельченные кристаллы сернокислого кадмия — *B* и насыщенный раствор сернокислого кадмия — *A*. В нижней части каждой из ветвей *H*-образного сосуда по предложению F. E. Smith'a делается сужение. До этого сужения насыщаются кристаллы сернокислого кадмия.

Если незапаянные элементы оставить на одну две недели после зарядки в теплой комнате, то часть жидкости испарится, а отлагающиеся мелкие кристаллики образуют корочку на поверхности около сужения. После запайки элемент делается годным для переноски и пересылки по почте и без ущерба выдерживает перепокидывание.

Сопротивление нормальных элементов Вестона порядка от 600 до 1000 омов.

Одним из главных достоинств нормального элемента Вестона является его малый температурный коэффициент, который, как указано в спецификации Лондонской Конференции, в пределах от 0° до 40° C выражается формулой:¹⁾

$$E_t = E_{20} - 0,0000406 (t - 20) - 0,00000095 (t - 20)^2 + 0,00000001 (t - 20)^3.$$

Эта формула основана на тщательных исследованиях Wolff'a, произведенных им в 1907 г. в Bureau of Standards над элементами, имеющими 12,5%-ую амальгаму.

Пределы ее применимости к элементам с 10%-ой амальгамой предстоит исследовать. Согласно этой формуле электродвижущая сила нормального элемента Вестона имеет максимальную величину при 3° C, что приблизительно соответствует температуре наименьшей растворимости сернокислого кадмия, а также температуре насыщения кадмиевого раствора в так называемых „переносных“ элементах Вестона, имеющих крайне незначительный температурный коэффициент²⁾.

При применении температурной формулы необходимо иметь в виду, что она верна только в том случае, когда все части нормального элемента находятся при одной и той же температуре. Если температура одной из ветвей элемента отличается от температуры другой, формула не применима. Это объясняется тем, что обе ветви имеют большие температурные коэффициенты, почти одинаковые по величине (у отрицательной ветви больший коэффициент), действующие на электродвижущую силу элемента в конечном счете компенсирующе. По исследованиям F. E. Smith'a температурные коэффициенты ветвей почти в десять раз больше коэффициента нормального элемента, их величина составляет около 0,0003 вольта на один градус.

Нормальные элементы Вестона обладают тепловым последствием, т. е. при изменении температуры их электродвижущая сила, соответствующая новой температуре, устанавливается не сразу, а с некоторым запаздыванием. Однако этот эффект становится незначительным, если изменения температуры происходят медленно в небольших пределах. Поэтому необходимо избегать резких колебаний температуры элементов; их необходимо выдерживать при одной и той же температуре по крайней мере сутки, прежде чем производить измерения.

Нормальные элементы весьма чувствительны к замыканиям их на небольшое сопротивление. Такое замыкание, даже на короткое время, заметно понижает электродвижущую силу элемента; требуется довольно продолжительный промежуток времени пока элемент вернется к первоначальной электродвижущей силе. По опытам F. E. Smith'a после 1 минутного короткого замыкания для этого

¹⁾ До Лондонской Конференции 1908 г. в употреблении была трехчленная формула температурного коэффициента:

$$E_t = E_{20} - 0,000038 (t - 20) - 0,00000065 (t - 20)^2$$

установленная в 1896 г. в P. T. Reichsanstalt'e Jaeger'ом и Wachsmut'ом и подтвержденная позднейшим наблюдением. Она применима для температур между 10° и 30° C к элементам с 12,5 — 14% составом амальгамы.

²⁾ Об этих элементах будет сказано ниже.

потребовалось 40 минут отдыха: после 5-минутного замыкания — $1\frac{1}{2}$ часа, после 5-часового замыкания — 3 недели, и после 5-ти дневного короткого замыкания — $1\frac{1}{2}$ месяца отдыха.

Однако малые зарядные и разрядные токи, которым элемент подвергается в цепи компенсационного прибора, не оказывают сколько-нибудь заметного влияния на величину его электродвижущей силы.

Как было уже выше сказано, величина электродвижущей силы нормального элемента Вестона с 1 января 1911 года принимается равной:

$$E = 1,01830 \text{ международного вольта при } 20^{\circ}\text{C.}$$

В заключение несколько слов по поводу старения элементов. Как показывает опыт, величина электродвижущей силы сохраняется постоянной в течение довольно продолжительного промежутка времени, затем она начинает падать вследствие изменения его составных частей. Для сохранения величины единицы неизменной, необходимо время от времени готовить новые элементы и заменять ими же элементы из группы, служащей в качестве эталона международного вольта, электродвижущая сила которых выходит из нормы. По правилам, рекомендуемым Р. Т. Reichsanstalt'ом элементы электродвижущая сила которых отступает от среднего более, чем на 1×10^{-4} вольта, должны быть заменены новыми. Другой способ сохранения международного вольта — проверка элементов при помощи серебряного вольтметра и образцового сопротивления. Каждый рабочий нормальный элемент рекомендуется сравнивать с элементами — эталонами метрологической лаборатории не реже одного раза в год.

§ 3. Нормальные элементы Главной Палаты мер и весов. Приготовление нормальных элементов в Главной Палате началось одновременно с организацией в ней электрического отделения. В 1900 году М. В. Ивановым были приготовлены по способу Kahle, применяемому в Р. Т. Reichsanstalt'e, 5 элементов Латимера Кларка, отличающиеся от элементов Вестона тем, что у них вместо кадмия и сернистого кадмия применяется цинк и сернистый цинк. М. В. Иванов определил их температурный коэффициент и проградуировал по серебряному вольтметру. Эти элементы служили эталоном электродвижущей силы до осени 1910 года, когда они были заменены нормальными элементами Вестона, и с ними сравнивались все вновьготавливаемые нормальные элементы, как Кларка, так и Вестона. Они были первым электрическим эталоном, построенным в стенах Главной Палаты. Эталоном сопротивления до конца 1913 г. служили манганиновые катушки, поверенные в Р. Т. Reichsanstalt'e, и только в этом году было окончено изготовление в Главной Палате второго электрического эталона — ртутных образцов международного ома.

Первые два элемента Вестона были приготовлены также М. В. Ивановым в 1901 году, попутно с изготовлением элементов Кларка. Их электродвижущая сила, определенная по сравнению с элементами Кларка, выражалась числом: 1,0190 вольт при 20°C . Элементы эти были годны еще в 1910 году.

С 1906 года работы по приготовлению нормальных элементов производились А. Б. Ферингер. Заменяя новыми испорченные элементы Кларка (у которых часто лопалось стекло в месте впаива электрода, погруженного в амальгаму), она одновременно готовила и элементы Вестона по правилам Р. Т. Reichsanstalt'a; серно-кадмиевая соль подвергалась обработке окисью кадмия и после ее нейтрализации перекристаллизовывалась: сернистая закись ртути применялась продажная от фирмы Schering'a, после предварительного измельчения и обработки серной кислотой. Электродвижущая сила этих элементов получилась около 1,0190 вольта при 20°C и, следовательно, превышала норму Р. Т. Reichsanstalt'a (1,0185), поэтому они обыкновенно сравнивались перед каждым применением их к поверочной работе с образцовыми элементами Кларка. Колебания их электродвижущей силы, по наблюдениям за пять лет, достигали 0,0004 вольта.

В 1909 году в Главной Палате мер и весов была устроена особая комната с специальными приспособлениями для приготовления материалов, необходимых для снаряжения элементов Вестона и серебряных вольтметров. После этого было приступлено к приготовлению элементов по спецификации Лондонской Конференции и правилам, рекомендуемым Национальной Физической Лабораторией (Англия) и Bureau of Standards (С.-А. Соединенные Штаты).

Весной 1910 года было приготовлено 6 элементов J_1, J_2, J_3, J_4, J_5 и J_6 и они были сравнены с элементами S_{14}, S_{15} и S_{16} , привезенными осенью 1908 года из Национальной Физической Лаборатории Н. Г. Егоровым и И. А. Лебедевым при возвращении их с Лондонской Конференции. Первое время по изготовлении новые элементы давали электродвижущую силу ниже английских на несколько милливольт (около 4 м. в.), затем их электродвижущая сила возрастала и через 3 недели устанавливалась с некоторым постоянством в сотых долях вольта для двух элементов, в остальных же продолжала медленно увеличиваться.

Летом 1910 года А. Б. Ферингер была командирована в Англию в Национальную Физическую Лабораторию с поручением сравнить элементы, приготовленные ею в Главной Палате, с образцовыми английскими, приготовленными Ф. Е. Smith'ом. Из элементов, приготовленных в Главной Палате, А. Б. Ферингер взяла с собой пять: J_1, J_2, J_4, J_5 и J_6 и три английских S_{14}, S_{15} и S_{16} , дававшие в электродвижущей силе расхождения до 6×10^{-5} вольта.

В Национальной Физической Лаборатории Ф. Е. Smith предложил А. Б. Ферингер, кроме сравнения привезенных элементов с эталонами Лаборатории, заняться совместно с ним приготовлением новых, предоставив в ее распоряжение все средства Лаборатории. А. Б. Ферингер приготовила там 39 элементов, воспользовавшись для этого всеми готовыми материалами, кроме сернистой соли закиси ртути. Эта последняя была приготовлена химическим путем для одной группы в 13 элементов Ф. Е. Smith'ом, для двух других групп по 13 элементов — А. Б. Ферингер, как это она делала и в Главной Палате.

Электродвижущая сила всех приготовленных элементов немедленно после зарядки имела величину около 1,0183 вольта при 20°C . Все эти элементы, равно как и пять привезенных из Главной Палаты J_1, J_2, J_4, J_5 и J_6 были многократно сравнены с элементами, электродвижущая сила которых установлена по серебряным вольтметрам Вашингтонской Комиссии 1910 года. Электродвижущая сила 27 элементов из 39 отличалась от международной нормы лишь в миллионных долях вольта, а у 12 остальных — она отступала на 1—5 сотых тысяч; пять элементов, приготовленных в Главной Палате весной 1910 г. отличались на 4—8 сотых тысяч вольта.

Из 39 элементов было выбрано 4 элемента (№ 1, № 2, № 5 и № 7) с наиболее близкой электродвижущей силой и для них дважды было определено ее значение при помощи двух серебряных вольтметров, бывших в международной работе в Вашингтоне.

В Главную Палату были взяты 31 элемент, в том числе два (№ 5 и № 7) из исследованных серебряными вольтметрами; остальные 8 оставлены в Национальной Лаборатории, равно как и два элемента J_1 и J_2 из пяти приготовленных в Главной Палате. Привезенные из Национальной Лаборатории элементы оказались в полной исправности, изменения их электродвижущей силы составляли лишь миллионные доли вольта.

По возвращении из Англии А. Б. Ферингер продолжала работу по изготовлению новых нормальных элементов по приемам Национальной Лаборатории, выясняя попутно некоторые неосвещенные пункты в деле приготовления нормальных элементов.

В 1911 году она приготовила 12 элементов, а в 1912 г. — еще 8 элементов. Часть элементов последней группы была употреблена для поверочных работ

электрического отделения Главной Палаты, часть была передана другим учреждениям и лицам.

К 1 января 1914 года в Главной Палате имелось 42 нормальных элемента Вестона, за электродвижущую силу которых можно было ручаться. Было измерено различными методами их внутреннее сопротивление, оказавшееся для большинства их порядка 1000 омов.

За эталонные элементы были приняты № 7 и № 5, электродвижущая сила которых была определена по серебряному вольтметру как в Национальной Физической Лаборатории, так и в Главной Палате мер и весов. Кроме двух эталонных, 24 элемента считались по качеству им равными и не употреблялись ни для каких проверок.

В начале 1912 года элементы были перенесены в подвальное помещение, расположенное под весовой лабораторией и отличающееся постоянством температуры и помещены в ванны, наполненные парафиновым маслом. Каждые 3—4 месяца элементы сравнивались между собой и с элементами эталонами. Эти регулярные сравнения производились до ухода А. Б. Ферингер из Главной Палаты в конце 1913 года.

Затем наблюдения производятся в конце 1914 г. и в первой половине 1915 г. А. Г. Гольдманом, работавшим также с серебряным вольтметром, после чего они прекращаются до конца гражданской войны.

Элементы оставляются в покое без ухода, они подвергаются совершенно ненормальному для них режиму в зимние месяцы, вследствие прекращения топки лабораторных помещений, в которых температура опускалась почти до 0° .

После долгого перерыва наблюдения вновь возобновились в конце 1920 года. Затем, когда с реформой Главной Палаты в январе 1922 г. в числе лабораторий. Метрологического Института была образована эталонная электрическая лаборатория, нормальные элементы передаются в эту лабораторию и с начала 1923 года устанавливаются регулярные сравнения всех уцелевших элементов. Эта работа выполняется лаборантом эталонной лаборатории Е. С. Чураевой.

Одновременно с основной эталонной электрической лабораторией в Метрологическом Институте создается специальная лаборатория нормальных элементов, в задачи которой входит поддержание эталона международного вольта путем замены старых элементов новыми, планомерное изучение нормального элемента в целях его усовершенствования с точки зрения постоянства и точности воспроизведения, и снабжение надежными нормальными элементами как научных учреждений СССР так и отдельных научных работников, имеющих дело с точными электрическими измерениями.

В 1923—24 г.г. заведующим лабораторией А. К. Колосовым приготовлены новые партии нормальных элементов Вестона в количестве 31 элемента, с различными вариантами в методах приготовления, с целью выяснить влияние последних на свойства элемента. Наблюдения над новыми элементами показали, что они представляют вполне надежные рабочие эталоны международного вольта. Их электродвижущая сила, в среднем, равна: 1,01852 международного вольта для элементов, приготовленных в начале января 1923 г.; 1,01840 международного вольта для элементов, приготовленных в конце января 1923 г. и 1,01841 международного вольта для элементов, приготовленных в июне 1924 г. Большинство этих элементов разошлось среди различных учреждений и отдельных лиц. В настоящем 1925 году А. К. Колосов вготавливает новые крупные партии нормальных элементов Вестона.

§ 4. Эталонная группа нормальных элементов Вестона. Как было указано в предыдущем § 3, для хранения величины международного вольта служили нормальные элементы Вестона № 7 и № 5, непосредственно проэталонированные по серебряному вольтметру; другие элементы служили лишь для взаимного контроля постоянства электродвижущей силы как нормальных элементов — эталонов, так и всех прочих элементов группы, связанных единством способа приготовления.

Однако сравнения нормальных элементов имеют лишь относительный характер, они дают только разности численных значений электродвижущей силы элементов и ничего не говорят об абсолютной величине ее.

Пока взаимное постоянство элементов сохраняется, можно с вероятностью полагать, что величина международного вольта, определяемая элементами — эталонами, остается неизменной. При изменении же сравнительных величин электродвижущих сил его можно одинаково приписывать абсолютному изменению электродвижущей силы как самих элементов — эталонов, так и контрольных элементов; даже в том случае, когда можно с уверенностью приписать изменение элементам — эталонам, вопрос об абсолютной величине его в известной степени остается открытым.

В этом случае для электродвижущей силы элемента — эталона, приходится принять новое значение, что не совсем вяжется с требованием неизменяемости эталонов, либо он должен быть заменен другим элементом группы. Поэтому хранение величины международного вольта посредством единичных элементов нельзя признать надежным способом.

Гораздо надежней принять за эталон группу нормальных элементов, среднее значение электродвижущих сил которых должно определять величину международного вольта и считаться постоянным при всех изменениях электродвижущих сил отдельных элементов, входящих в эталонную группу, что равносильно допу-

щению взаимной компенсации этих изменений. Групповым эталоном создаются условия, обеспечивающие неизменяемость определяемой им единицы, каждый в отдельности элемент контролируется другими и сам в свою очередь служит для их контроля.

Наблюдения показали, что электродвижущая сила нормальных элементов № 7 и № 5, выбранных за эталоны, с течением времени заметно уменьшилась и они потеряли право быть эталонами международного вольта, поэтому в 1922 году был поставлен вопрос о выборе эталонной группы из числа элементов, приготовленных Главной Палатой и сохранивших электродвижущую силу соответствующую норме.

Из всех изготовленных Главной Палатой партий нормальных элементов для указанной цели могли служить только элементы, приготовленные А. Б. Ферингер в Национальной Физической Лаборатории в Англии: они, во-первых, приготовлены по тем же правилам, как и нормальные элементы, бывшие в работе Вашингтонской Комиссии 1910 года, а во-вторых, сравнены непосредственно с элементами, участвовавшими в работе этой Комиссии и, кроме того, еще по серебряному вольтметру, так что их электродвижущая сила была точно выражена в единице 1910 года.

Из 31 нормального элемента в 1922 году на лицо было 30 элементов. Из них 7 элементов оказались испорченными вследствие присутствия слоя масла над

Таблица I.

№№ элементов.	Время приготовления.	Способ приготовления.				Внутреннее сопротивление при 20° С.	Электродвижущая сила при 20° С в международных вольтах.											
		Hg ₂ SO ₄	Паста.	Амальгама.			Cd SO ₄	1910 г. Июль. Х. В. Ферингер.	1911 г. Июнь. А. В. Ферингер.	1912 г. Сентябрь. А. В. Ферингер.	1913 г. Август. А. В. Ферингер.	1914 г. Октябрь. А. Г. Гольдман.	1920 г. Ноябрь. В. С. Габель.	1922 г. Август. Ю. Н. Броуэр.	1923 г. Март. М. Ф. Маликов.	1924 г. Июль. Е. С. Чураева.	1925 г. Июль. Е. С. Чураева.	
3	31-VIII-1910 г.	Химически, осаждением из раствора азотно-ртутной соли в горячей серной кислоте. А. В. Ферингер. 30-VIII-1910 г.		10%	Нагреванием кадмия и ртути в водной бане.	N. P. L.	28	29	28	28	28	27	29	28	28	28	28	
4	"			"		"	"	28	29	28	28	28	31	33	30	31	30	
5	"					"	"	"	27	29	28	28	24	23	23	19	18	18
7	"					"	"	"	29	28	28	28	29	23	22	20	19	18
10	"			+ Hg.		"	"	"	27	28	28	28	28	26	29	27	28	28
14	"		+ Hg.	"	"	"	28	28	28	28	28	27	29	29	30	30		
16	2-IX-1910 г.	Тоже. F. E. Smith. 29-VIII-1910 г.		10%	Электролитически.	N. P. L.	30	29	30	30	31	31	33	33	34	34		
18	"		+ Hg.	"		"	"	29	29	30	30	31	32	33	31	31	31	
19	"					"	"	29	29	29	29	30	30	31	27	30	29	
20	"		+ Hg.	"		"	"	30	29	29	29	29	30	30	29	31	32	
23	"		+ Hg.	"		"	"	29	30	30	29	30	30	29	28	30	31	
24	"					"	"	30	30	30	30	31	32	28	32	33	33	
26	"					"	"	29	29	30	30	30	26	31	29	27	28	
28	7-IX-1910 г.	Тоже. А. В. Ферингер. 7-IX-1910 г.		12,5%	Нагреванием кадмия и ртути в водной бане.	От Kahlbaum'a, обработан CdO.	35	34	34	35	36	38	38	40	40	40		
29	"		+ Hg.	"			"	35	35	35	33	33	33	32	36	34	36	
30	"		+ Hg.	"			"	35	34	34	34	33	34	31	36	33	29	
32	"		+ Hg.	10%			"	27	28	28	28	28	30	—	33	32	33	
33	"		+ Hg.	"			"	29	28	29	29	29	31	30	33	34	34	
38	"			12,5%	Электролитически.	N. P. L.	36	35	36	36	—	—	35	32	32			
41	"			10%			"	30	29	29	29	28	38	29	31	32	32	
Среднее							30	29	29	29	28	30	30	31	32	32		
							1,01830	1,01830	1,01830	1,01830		1,01830	1,01830	1,01830	1,01830	1,01830		

электролитом, проникшего внутрь стеклянных оболочек через незаметные на глаза трещины, образовавшиеся, вероятно, в местах спая и ввода электродов и с течением времени увеличившиеся вследствие неблагоприятных внешних условий, в которых находились элементы в предшествовавшие годы.

Их электродвижущая сила оказалась значительно ниже нормы (от 1,0179 до 1,0155 вольт). Далее у двух других элементов замечено уменьшение электродвижущей силы до 1,0181 вольта, хотя видимых дефектов и не обнаружено. Остальные элементы оказались в хорошем состоянии и из них выбрано 20 элементов для образования эталонной группы. В эту группу были включены элементы № 7 и № 5, ввиду их исторической роли в качестве эталонов международного вольта, не смотря на то, что электродвижущая сила их отступала от среднего на 1×10^{-4} вольта.

Среднее значение электродвижущих сил всех нормальных элементов, входящих в эталонную группу, можно а priori принять равным 1,0183 международного вольта при 20°C , с точностью до 1×10^{-4} вольта, согласно определению Вашингтонской Комиссии 1910 г. Точное значение шестого десятичного знака определится по тем электродвижущим силам отдельных элементов, которые были получены в Национальной Физической Лаборатории при сравнении их с элементами Национальной Лаборатории, участвовавшими в международной работе в Вашингтоне. По счастливой случайности этот шестой знак оказался нулем, так что точное значение нашего группового эталона выражается числом:

$$1,01830 \text{ международного вольта при } 20^\circ.$$

т.е. эталон совершенно точно воспроизводит Вашингтонскую единицу электродвижущей силы.

В таблице I (стр. 140—141) приведена сводка данных, относящихся к изготовлению нормальных элементов Вестона, вошедших в эталонную группу и сводка наблюдений, произведенных над ними с 1910 по 1925 год. В первом столбце таблицы указаны №№ элементов, во втором — время приготовления их, в третьем — способ приготовления сернистой закиси ртути, лица, приготовившие эту соль, и время ее приготовления, в четвертом — знак *Hg* означает, при приготовлении каких элементов к пасте была применена чистая ртуть. В пятом и шестом столбцах таблицы даны указания на состав амальгамы и способ ее получения; в шестом — знак *N.P.L.* означает, что сернистый кадмий приготовлен по методу Национальной Физической Лаборатории. В седьмом столбце — приведено внутреннее сопротивление элементов, измеренное А. Б. Ферингер различными методами.

§ 5. Метод сравнения нормальных элементов. Электрические сравнения нормальных элементов производятся компенсационным методом. Сравнимые элементы помещаются верхом на деревянных подставках в металлических ваннах, наполненных вазелиновым маслом. В каждой ванне может поместиться в два ряда до 40 элементов. Сверху посреди ванны укреплена металлическая рейка с зажимами, к которым присоединяются положительные полюса элементов; отрицательные полюса присоединены к изолированным зажимам, укрепленным на эбонитовых рейках, расположенных у стенок ванны. Двойной шнур идет к компенсационному прибору, один провод его присоединяется к средней металлической рейке с подведенными к ней положительными полюсами элементов, другой может присоединяться к любому из зажимов на эбонитовых рейках с подведенными к ним отрицательными полюсами элементов, переставляя этот последний провод можно подводить к компенсационному прибору сравниваемые элементы один за другим.

Присоединение проводов быстро производится при помощи особого контактного приспособления, состоящего у зажимов на рейках из металлического стерженька, а у провода из трубочки, надеваемой с трением на стерженек. Группа эталонных элементов помещена в одной из ванн в последовательном порядке номеров. В каждой ванне находится по термометру.

В эти же ванны помещаются по меньшей мере за 24 часа до начала наблюдений, и все элементы, поступающие на поверку, если их конструкция допускает погружение в масляную ванну.

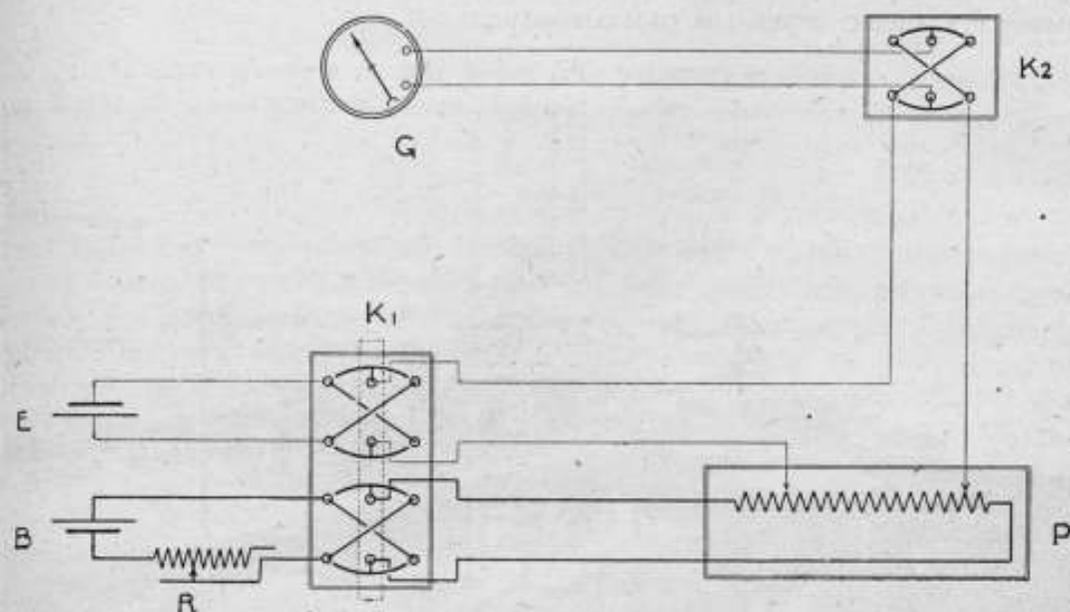


Рис. 2.

На рис. 2 изображена схема расположения приборов, а на рис. 3 общий вид установки. P — компенсационный прибор О. Волфа обычной конструкции с 5 степенями регулировки и с сопротивлением в 10.000 ом на 1 вольт, последние секции прибора имеют сопротивление в 0,1 ома и отвечают, следовательно, 10 микровольтам. Цепь компенсационного прибора питается аккумулятором B емкостью около 15 ампер-часов, который держится постоянно включенным в цепь; сила тока регулируется переменным сопротивлением R . E — один из находящихся в ванне нормальных элементов, приключаемый к компенсационному прибору для сравнения. G — гальванометр системы Д'Арсонваля, фирмы Сименс и Гальске, с сопротивлением в 300 ом; чувствительность гальванометра при расстоянии шкалы в 2,5 метров составляет около 4 микровольт на 1 деление шкалы.

Влияние термотоков, всегда крайне ничтожное, исключается изменением направления тока в цепи компенсационного прибора и одновременным переключением полюсов нормального элемента посредством двойного коммутатора K_1 . Коммутатор K_2 служит для включения гальванометра и изменения в нем направления тока. Малые колебания тока в цепи компенсационного прибора исключаются повторением наблюдений в обратном порядке.

Помещение эталонной электрической лаборатории, расположенной в центре второго этажа главного здания Палаты, отличается довольно постоянной температурой, суточные ее колебания в редких случаях достигают $0,2^{\circ}\text{C}$, обыкновенно же она неделями держится постоянной, поэтому не приходится опасаться вредного влияния теплового последствие. Лаборатория освещается искусственным светом, что также имеет свои преимущества в смысле устранения действия света на соли ртути и возможного появления электродвижущих сил от актиноэлектрического эффекта.

При сравнении нормальных элементов один из них избирается в качестве образца — назовем его „элементом сравнения“. Для каждого из остальных элементов определяются разности электродвижущих сил по отношению к элементу сравнения. По этим разностям результаты измерения выражаются в значении эталонной группы нормальных элементов.

Прежде всего на компенсационном приборе уравнивается элемент сравнения; для этого на нем выставляется число омов, равное умноженной на 10.000 электродвижущей силе элемента сравнения, известной на основании предыдущих измерений, и при помощи сопротивления R достигается возможно меньшее отклонение зеркала гальванометра.

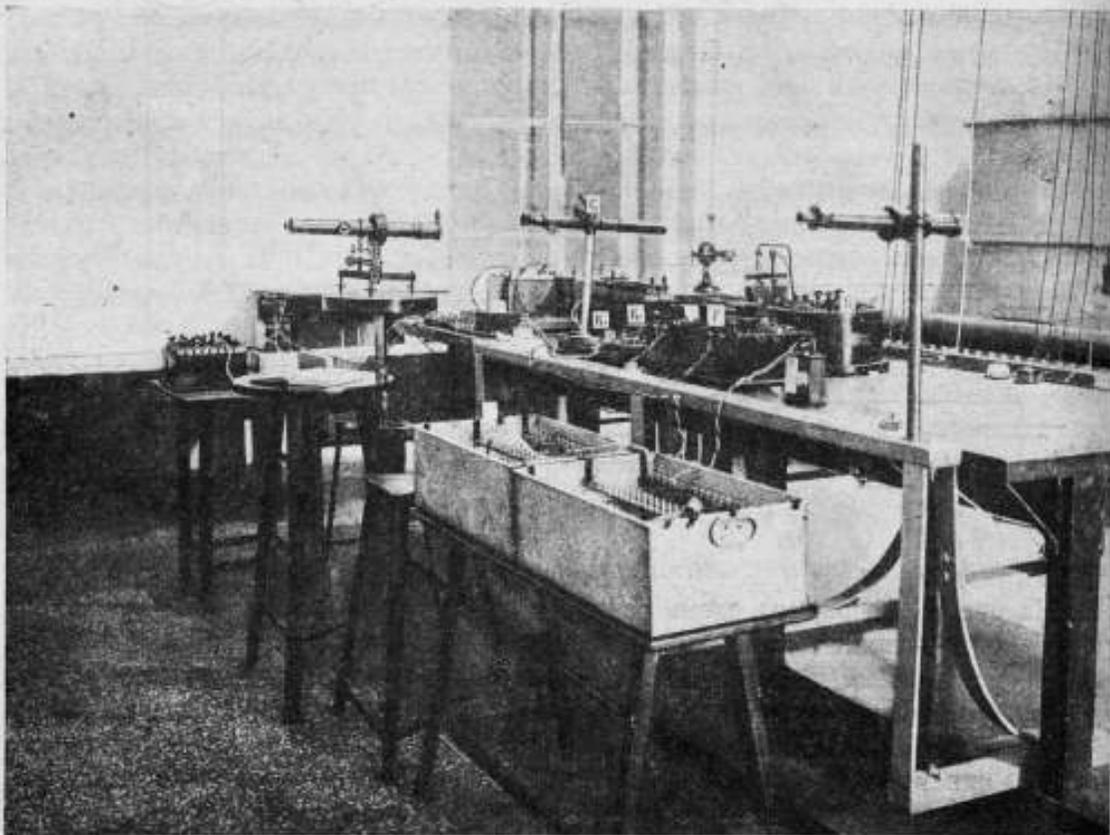


Рис. 3.

Если E_0 — электродвижущая сила элемента сравнения, α_0 — выраженное в микровольтах отклонение зеркала гальванометра, вследствие неполной компенсации напряжений в его цепи и N_0 — выставленное на компенсационном приборе число омов, деленное на 10.000 (т. е. $N_0 = R_0 i$, где R_0 — выставленное число омов, $i = 0,0001$ ампера — постоянная сила тока в цепи компенсационного прибора), то можно написать равенство:

$$E_0 + \alpha_0 = N_0 \dots \dots \dots (1)$$

Затем на компенсационном приборе уравниваются один за другим сравниваемые элементы, таким числом омов, при котором достигается возможно полная компенсация напряжений в цепи гальванометра, т. е. наименьшее отклонение его зеркала. Тогда, обозначая через E_x — искомую электродвижущую силу, через α_x — отклонение гальванометра в микровольтах и через $N_x = R_x i$ — число вольт, выставленное на компенсационном приборе, можем написать по предыдущему:

$$E_x + \alpha_x = N_x \dots \dots \dots (2)$$

На основании (1) и (2), при условии постоянства тока в цепи гальванометра, имеем:

$$E_x - E_0 = N_x - N_0 + (\alpha_0 - \alpha_x) \dots \dots \dots (3)$$

Умножая равенство (7) на K — значение одного деления шкалы в микровольтах (чувствительность гальванометра), получим:

$$a = K a = K \frac{n_1 - n_2}{2}$$

Обыкновенно при наблюдениях производится по несколько отчетов n_1 и n_2 и из них берутся средние.

Чувствительность гальванометра определяется следующим образом.

Уравновесив на компенсационном приборе элемент сравнения числом N_0 и сделав отчеты, изменяют это число N_0 на несколько единиц последнего знака, т. е. вводят несколько десятых ома на последнем круге прибора, и снова делают отчеты. Тогда, обозначая через a — отклонение зеркала гальванометра в первом случае, через a_1 — во втором и ΔN_0 — изменение числа N_0 , имеем:

$$K(a_1 - a) = \Delta N_0$$

$$K = \frac{\Delta N_0}{a_1 - a}$$

При этом убеждаются в правильности знака у отклонений; так как K положительное число, то при $\Delta N_0 > 0$ должно быть $a_1 > a$. Если этого нет, то надо считать первое положение коммутатора K_1 вторым, а второе — первым, или изменить направление замыканий коммутатора K_2 .

§ 6. Работы с серебряным вольтметром. Первое определение электродвижущей силы нормальных элементов, принадлежащих к эталонной группе, по серебряному вольтметру и образцовому сопротивлению было произведено А. Б. Ферригер и Ф. Е. Smith'ом в Национальной Физической Лаборатории в сентябре 1910 года, вскоре после их изготовления. Измерения производились два раза с нормальными элементами № 7 и № 5; при этом для электродвижущей силы элемента № 7 при 20° С получено следующее число:

$$E_7 = 1,01826 \text{ межд. вольта.}$$

Вторая работа с серебряным вольтметром была произведена А. Б. Ферригер в Главной Палате в 1912 году; здесь также определялась электродвижущая сила нормального элемента № 7 и были получены следующие результаты:

II. 1912 г.	$E_7 = 1,01827$	межд. вольта.
III. 1912 г.	1,01831	" "
XII. 1912 г.	1,01834	" "

$$\text{Среднее: } E_7 = 1,01830, \text{ межд. вольта } \pm 0,000024.$$

Работа производилась по тому же методу как и в Национальной Физической Лаборатории. Образцовое сопротивление было выражено в международных омах Р. Т. Reichsanstalt'a, т. е. практически в той же единице, которая была принята при работе в Вашингтоне (немецкая единица сопротивления на $0,5 \times 10^{-5}$ ома больше Вашингтонской единицы).

Сопоставляя приведенные результаты с числами, указанными для электродвижущей силы элемента № 7 в таблице I получаем:

	Электродвижущая сила нормального элемента № 7 при 20° С.	
	По серебряному вольтметру.	В межд. вольтах эталонной группы.
1910 г. . .	1,01826	1,01829
1912 г. . .	1,01830	1,01828
Среднее .	1,01828 ₄	1,01828 ₅

Отсюда следует, что эталонная группа нормальных элементов в указанный период времени точно воспроизводила величину международного вольта, установленную Вашингтонской Комиссией 1910 г. и принятую всеми метрологическими лабораториями.

Последняя работа с серебряным вольтметром была произведена в Главной Палате в мае 1915 г. А. Г. Гольдманом. Эта работа осталась неопубликованной. Образцовым сопротивлением служила марганцовая катушка, поверенная по ртутным образцам международного ома, изготовленным в Главной Палате в 1913 году.

На основании международных сравнений катушек сопротивления, разосланных в 1913 году Национальной Физической Лабораторией в метрологические учреждения различных государств, с ртутными образцами этих учреждений, можно установить, что международный ом Главной Палаты на 2×10^{-5} ома меньше Вашингтонской единицы, а поэтому полученная А. Г. Гольдманом величина электродвижущей силы нормального элемента должна быть на 2×10^{-5} вольта больше установленной Вашингтонской комиссией. Определялась электродвижущая сила нормального элемента № 10, она оказалась равной:

$$E_{10} = 1,01832 \text{ между. вольта при } 20^{\circ} \text{ C.}$$

Это число, согласно вышеуказанному, соответствует значению в Вашингтонской единице:

$$E_{10} = 1,01830 \text{ между. вольта при } 20^{\circ} \text{ C.}$$

Из протоколов сравнений нормальных элементов видно, что в период времени X. 1914 г. — V. 1915 г. величина электродвижущей силы нормального элемента № 10 оставалась неизменной; таблица I дает для нас в X. 1914 г. число:

$$E_{10} = 1,01828 \text{ между. вольта.}$$

Разность между последними двумя числами, составляющая 2×10^{-5} вольта, лежит в пределах ошибок наблюдения.

§ 7. Международные сравнения нормальных элементов. Международные сравнения нормальных элементов представляют большой интерес, так как они позволяют установить взаимные соотношения между единицами электродвижущей силы различных государств.

Первое международное сравнение нормальных элементов было произведено А. Б. Ферингер в 1910 г. в Английской Национальной Физической Лаборатории, где хранятся два из тех элементов, которые были на международной работе в Вашингтоне. С этими элементами была сравнена серия элементов, послужившая для образования эталонной группы. Результаты этих сравнений послужили для установления точной величины арифметического среднего электродвижущих сил эталонной группы элементов, которое как уже было указано, оказалось равным 1,01830 международного вольта при 20° C.

В 1914 году М. Ф. Маликов и Л. Н. Салтыков, отправляясь за границу, взяли с собой 4 нормальных элемента № 36, № 40, Ас7 и 2.15 для сравнения их в национальных лабораториях Англии, Германии и Франции. Прежде всего элементы были переданы F. E. Smith'у в Национальной Физической Лаборатории, который сначала произвел измерения их электродвижущей силы при 20° C. , затем подвергнул их нагреванию до 30° C. в течение 3-х часов, после чего они были снова помещены в ванну при температуре 20° C. ; через два часа были сделаны измерения, обнаружившие значительное тепловое последствие у первых двух элементов. С своей стороны F. E. Smith снабдил названных лиц тремя элементами № 610, № 611 и № 612, изготовленными в ноябре 1913 г., у которых последствие не наблюдалось. Все семь элементов были привезены в Париж и сравнены в Laboratoire Central d'Electricité с эталоном этой лаборатории, а затем в Берлин для сравнения в P. T. Reichsanstalt'e, и оттуда были доставлены в Главную Палату.

Элементы перевозились с большими предосторожностями на руках, завернутыми в вату и упакованными в ящичек.

Сравнения дали следующие результаты.

№№ элементов.	Электродвижущая сила при 20° С.					
	Гл. Палата. 12-VIII-1913.	N. P. L. 19-I-1914.		L. C. E. 23-I-1914.	P. T. R. 31-I-1914.	Гл. Палата. 12-V-1915.
		До нагре- вания.	После на- гревания.			
36	1,01816	1,01832	1,01892	1,01820	1,01835	1,01800
40	1,01828	1,01832	1,01851	1,01838	1,01841	1,01820
	11-X-1912.					
АС. 7	1,01829	1,01830	1,01838	1,01829	1,01831	1,01830
2.13	1,01830	1,01830	1,01831	1,01832	1,01830	1,01831
610	—		1,01830	1,01829	1,01826	1,01830
611	—		1,01830	1,01829	1,01827	1,01829
612	—		1,01830	1,01828 ₂	1,01826	1,01830
Среднее .	1,01829 ₃		1,01830	1,01829 ₅	1,01828	1,01830

Элементы № 36 и № 40, обнаружившие большое тепловое последствие и аномалию в электродвижущей силе, не приняты в расчет при выводе среднего. Это среднее показывает, что в 1914 г. величина международного вольта во всех четырех метрологических лабораториях практически была одна и та же. Разница в 2×10^{-5} для величины P. T. Reichsanstalt'a лежит в пределах возможных колебаний электродвижущей силы элементов и не превышает пределов точности, с какой вообще до настоящих пор может считаться установленной величина международного вольта.

Последнее международное сравнение нормальных элементов относится к 1922 г., когда Л. Д. Исаков, во время своего посещения Национальной Физической Лаборатории, получил для Главной Палаты 4 элемента №№ 2133, 2138, 2141 и 2142, изготовленных в 1921 г. Эти элементы были сравнены затем в P. T. Reichsanstalt'e и в Главной Палате. Результаты сравнения оказались следующими:

№№ элементов.	Электродвижущая сила при 20° С.			
	N. P. L. 30-VII-1921.	P. T. R. 4-III-6-IV-1922.	Гл. Палата.	
			4-VIII-1922.	8-III-1923.
2133	1,01824	1,01827	1,01828	1,01826
2138	1,01824	1,01827	1,01828	1,01826
2141	1,01824	1,01827	1,01828	1,01827
2142	1,01824	1,01826	1,01828	1,01826
Среднее .	1,01824	1,01826 ₂	1,01828	1,01826 ₃

Разница между этими числами также лежит в пределах возможных колебаний электродвижущей силы элементов. Из таблицы видно, что не смотря на неблагоприятные условия, в которых находились нормальные элементы Главной Палаты, они сохранили свою электродвижущую силу неизменной.

§ 8. Результаты наблюдений над нормальными элементами. В таблице I сопоставлены результаты сравнений нормальных элементов эталонной группы с 1910 по 1925 г., показывающие годовые изменения их электродвижущей силы.

По времени приготовления элементы принадлежат к трем партиям. К первой партии принадлежат 6 элементов, приготовленных 31. VIII. (№ 3—№ 14), ко второй—7 элементов, приготовленных 2. IX. (№ 16—№ 26) и к третьей—7 элементов, приготовленных 7. IX. № 28—№ 41. Элементы двух первых партий имели при изготовлении одинаковую электродвижущую силу, в пределах 1×10^{-5} вольта, что же касается элементов 3 группы, то здесь бросаются в глаза 4 элемента, электродвижущая сила которых на 5×10^{-6} вольта больше, чем у остальных; любопытно, что только эти элементы содержат амальгаму 12,5% состава, в остальном они ничем не отличаются от прочих элементов.

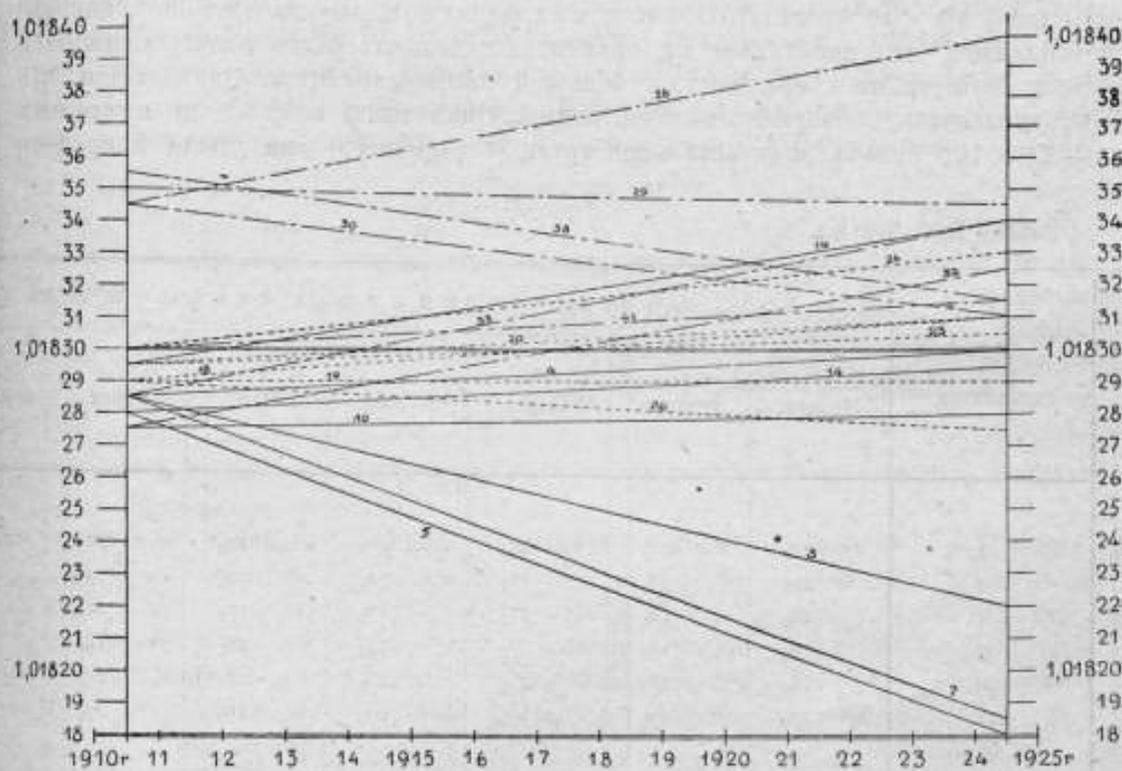


Рис. 4.

Из таблицы видно, что в течение первых четырех лет электродвижущая сила элементов, по отношению к среднему, оставалась постоянной в пределах 1×10^{-5} вольта; исключение составляет только элемент № 5, который в 1914 году обнаружил резкое падение электродвижущей силы, продолжавшееся и далее. После 6-летнего перерыва наблюдения вновь возобновились в 1920 г. Эти наблюдения показывают, что электродвижущая сила нормальных элементов подвергается более или менее значительным колебаниям, при чем эти колебания особенно ясно выражены в годы 1920—1923 г.г., когда элементы находились в неблагоприятных температурных условиях: их температура менялась в пределах от 0° до 20° С. С 1923 г. установился нормальный режим и кривые изменения электродвижущей силы идут уже более плавно. Наиболее устойчивыми оказались элементы, принадлежащие ко 2-й партии, приготовленной 2/ix 1910 г. Очевидно в элементах происходят еще недостаточно выясненные процессы, обуславливающие их старение. На рис. 4 дана диаграмма, показывающая изменение эталонной группы за 15 летний период. Здесь взяты электродвижущие силы элементов, относящиеся

к двум эпохам: 1910—1911 г.г. и 1924—1925 г.г. и через соответствующие пары точек проведены прямые, наклон которых характеризует величину и знак изменения электродвижущей силы.

На диаграмме, прежде всего, привлекает внимание обособленность группы 4 элементов, содержащих 12,5% амальгаму. Далее бросается в глаза веерообразное расхождение прямых, выходящих из узкого пучка слева, это показывает, что электродвижущие силы элементов были сначала близки друг к другу, а к концу 15-летнего периода они заметно стали отличаться по величине; расхождение служит характеристикой старения. Особенно заметно падение электродвижущей силы у трех элементов, принадлежащих к первой партии, № 3 ($-6,5 \times 10^{-5}$ вольта), № 5 и № 7 (-1×10^{-4} вольта). Последние два элемента, как уже было упомянуто, прежде служили эталонами электродвижущей силы. У двух элементов 3-й партии, № 28 и № 33 замечается значительное повышение электродвижущей силы (на $+5,5 \times 10^{-5}$ вольта). В общем же главная масса пучка идет слева направо густой сетью, что показывает на сравнительное постоянство электродвижущей силы, по отношению к среднему, у большей части элементов. Оказывается, что у $\frac{2}{3}$ элементов (13 элементов) электродвижущая сила возросла и в среднем на $+2,5 \times 10^{-5}$ вольта, а у остальной трети (7 элементов) она упала в среднем

Наблюд. Е. С. Чураева.

№№ элементов.	Электродвижущая сила при 20° С международных вольтах.												Наибольшие месячные колебания 10^{-5} вольта	Средние месячные колебания 10^{-5} вольта	Изменения электродвижущей силы за год 10^{-5} вольта.
	Январь.	Февраль.	Март.	Апрель.	Май.	Июнь.	Июль.	Август.	Сентябрь.	Октябрь.	Ноябрь.	Декабрь.			
3	1,01822*	1,01822 ₉	1,01823 ₀	1,01822 ₉	1,01822 ₆	1,01822 ₈	1,01822 ₁	1,01822 ₁	1,01822 ₃	1,01822 ₂	1,01821 ₇	1,01821 ₉	- 0,5	± 0,2	- 0,9
4	29 ₉	30 ₂	30 ₈	30 ₀	30 ₁	29 ₉	30 ₃	30 ₀	30 ₂	30 ₂	30 ₄	29 ₈	+ 0,9	± 0,3	- 0,1
5	18 ₀	18 ₁	17 ₉	17 ₈	17 ₉	17 ₉	17 ₇	17 ₇	17 ₄	17 ₄	17 ₆	17 ₁	- 0,5	± 0,2	- 0,9
7	19 ₀	19 ₁	18 ₉	18 ₈	18 ₇	18 ₉	19 ₀	18 ₇	18 ₀	18 ₀	18 ₄	18 ₄	- 0,3	± 0,1	- 0,6
10	28 ₀	28 ₁	27 ₉	28 ₁	28 ₀	28 ₉	28 ₀	27 ₉	28 ₀	28 ₀	28 ₁	28 ₅	+ 0,4	± 0,2	+ 0,5
14	29 ₀	29 ₄	29 ₅	29 ₄	29 ₈	29 ₀	30 ₀	29 ₈	30 ₀	30 ₀	29 ₈	29 ₈	+ 0,4	± 0,2	+ 0,6
16	32 ₉	32 ₉	33 ₀	33 ₂	33 ₁	33 ₂	33 ₃	33 ₇	33 ₈	33 ₈	33 ₈	33 ₈	+ 0,6	± 0,2	+ 0,9
18	30 ₇	31 ₂	31 ₀	30 ₈	31 ₁	31 ₃	30 ₈	30 ₇	30 ₈	30 ₈	30 ₅	30 ₃	+ 0,5	± 0,2	- 0,4
19	30 ₄	29 ₉	29 ₇	30 ₀	29 ₄	29 ₄	29 ₃	28 ₈	29 ₀	29 ₀	29 ₉	29 ₈	- 1,0	± 0,4	- 0,6
20	30 ₈	30 ₇	31 ₁	31 ₁	30 ₈	31 ₁	31 ₄	31 ₈	31 ₅	31 ₈	32 ₁	32 ₁	+ 0,8	± 0,3	+ 1,3
23	28 ₇	29 ₁	29 ₂	29 ₅	29 ₈	29 ₈	29 ₀	30 ₀	30 ₄	30 ₄	30 ₄	30 ₅	+ 0,5	± 0,2	+ 1,8
24	32 ₂	32 ₄	32 ₂	32 ₈	32 ₀	32 ₆	32 ₇	32 ₉	33 ₄	33 ₄	33 ₆	33 ₅	+ 0,5	± 0,2	+ 1,3
26	27 ₈	28 ₂	27 ₉	27 ₇	28 ₀	28 ₁	27 ₇	27 ₅	27 ₈	27 ₈	27 ₁	27 ₁	- 0,6	± 0,3	- 0,7
28	39 ₇	40 ₂	40 ₀	39 ₇	40 ₀	39 ₇	41 ₀	40 ₁	40 ₄	40 ₅	40 ₃	40 ₃	+ 0,8	± 0,4	+ 0,6
29	34 ₂	33 ₉	34 ₀	33 ₇	33 ₈	33 ₈	35 ₅	34 ₇	34 ₄	33 ₇	34 ₃	34 ₃	+ 1,6	± 0,4	0
30	35 ₃	34 ₄	33 ₉	34 ₇	34 ₆	33 ₉	34 ₈	34 ₈	32 ₆	32 ₃	31 ₄	31 ₄	- 1,7	± 0,8	- 3,9
32	32 ₉	32 ₀	32 ₀	32 ₄	31 ₇	32 ₀	31 ₇	32 ₇	32 ₄	32 ₄	32 ₄	32 ₄	+ 1,0	± 0,4	+ 0,1
33	33 ₅	33 ₃	33 ₅	33 ₄	33 ₄	33 ₅	33 ₁	33 ₆	34 ₂	34 ₉	34 ₂	34 ₂	+ 0,6	± 0,2	+ 0,7
38	33 ₁	33 ₀	32 ₉	32 ₄	31 ₀	31 ₉	30 ₅	31 ₅	31 ₉	32 ₀	32 ₁	32 ₁	- 1,3	± 0,5	- 0,7
41	31 ₈	31 ₂	31 ₈	31 ₅	31 ₂	31 ₇	31 ₅	32 ₁	32 ₅	32 ₄	32 ₄	32 ₅	+ 0,6	± 0,3	+ 0,9
Среднее . . .	1,01830	1,01830	1,01830	1,01830	1,01830	1,01830	1,01830	1,01830	1,01830	1,01830	1,01830	1,01830	± 0,8	± 0,3	0

на -5×10^{-5} вольта. Конечно, это возрастание электродвижущей силы только кажущееся, оно объясняется тем, что в образовании арифметического среднего принимают участие также элементы, электродвижущая сила которых значительно упала. Если такие элементы исключить из рассмотрения при вычислении среднего, то увеличение электродвижущей силы сведется до пределов обычных ее колебаний у элементов, находящихся в нормальном состоянии.

Но все же кажущееся увеличение электродвижущей силы заставляет подозревать, что международный вольт, представляемый арифметическим средним всей группы элементов, по абсолютной величине несколько уменьшился, но это уменьшение не превышает $2,5 \times 10^{-5}$ вольта, как это подтверждается, к тому же, результатами международного сравнения, произведенного в 1922 году. Диаграмма показывает также, что наиболее постоянными оказались элементы второй партии, изготовленные 2/IX 1920 г. (пунктирные линии); среднее изменение электродвижущей силы составляет для них $+2 \times 10^{-5}$ вольта; только один элемент № 26 показал незначительное ее уменьшение ($-1,5 \times 10^{-5}$ вольта). У элементов первой партии обнаруживается наибольшее понижение электродвижущей силы: у 3-х элементов в среднем на -9×10^{-5} вольта, а у элементов в третьей партии наблюдается главным образом повышение электродвижущей силы: у 4 элементов, в среднем, на $+4,6 \times 10^{-5}$.

Таблица II.

В таблице II приведены результаты ежемесячных сравнений нормальных элементов в 1924 г. В третьем столбце справа приведены наибольшие разности в электродвижущей силе элементов, двух соседних месяцев, а в предпоследнем столбце — средние месячные разности. Как видно из таблицы, последние невелики, они составляют в среднем около 3 микровольт, величину того же порядка, как и точность электрических сравнений, а потому их вообще можно отнести на счет погрешностей наблюдения. Что же касается максимальных колебаний электродвижущей силы, то в некоторых случаях они достигают порядка 15 микровольт и указывают на действительные колебания электродвижущей силы элементов как в сторону ее понижения, так и в сторону повышения. В среднем и эти колебания, порядка 8 микровольт, лежат за пределом достоверности значения международных электрических единиц. В последнем столбце таблицы II приведены изменения электродвижущей силы за год. За исключением элемента № 30, который обнаружил большое систематическое падение электродвижущей силы ($-3,9 \times 10^{-4}$ вольта за год) эти разности не превышают порядка 1×10^{-5} вольта, так что даже при сравнительной старости нормальные элементы не дают оснований ожидать резких изменений, выходящих из пределов, допустимых для эталонов электрических единиц.

Ежемесячные сравнения производились в 1923 и 1924 г.г., в дальнейшем сравнения элементов производятся через каждые 3 месяца. Из всего изложенного выше следует, что нормальные элементы представляют из себя надежный эталон международного вольта. Их электродвижущая сила, по крайней мере, в первые четыре года после изготовления, сохраняется постоянной в пределах 1×10^{-5} вольта, поэтому их поверка по серебряному вольтметру и ртутным образцам может производиться лишь изредка, не чаще одного раза в 3—5 лет.

С течением времени у нормальных элементов наблюдается старение, выражающееся в том, что у одних элементов быстрее, у других медленней, изменяется электродвижущая сила, главным образом, в сторону уменьшения, поэтому для хранения международного вольта нельзя пользоваться единичными элементами. Групповой эталон гораздо надежней и может служить долгие годы. Для обеспечения международного вольта с точностью до 1×10^{-5} необходимо всякий элемент, электродвижущая сила которого отличается от среднего более, чем на 1×10^{-4} вольта, заменять новым с нормальной электродвижущей силой, как это рекомендуется правилами P. T. Reichsanstalt'a. У эталонной группы такими элементами являются № 5, № 7 и № 28.

Эталонная группа нормальных элементов Главной Палаты, с ее долголетней службой, должна быть заменена новой группой, установленной по серебряному вольтметру и ртутным образцам; эта задача уже поставлена на очередь эталонной электрической лабораторией Главной Палаты.

§ 9. **Группа нормальных элементов из Национальной Физической Лаборатории.** В эталонной электрической лаборатории есть группа нормальных элементов Вестона, приготовленных в Национальной Физической Лаборатории и доставленных в Главную Палату ее сотрудниками, которые получили их от F. E. Smith'a при своем посещении Национальной Лаборатории.

Первые элементы были привезены Управляющим Главной Палатой — Н. Г. Егоровым в ноябре 1907 года; это были элементы NA_2 и NA_4 , изготовленные F. E. Smith'ом в апреле 1906 г. и описанные им в статье о нормальном элементе Вестона, помещенной в IV томе *Collected Researches. Nat. Phys. Laboratory*. К сожалению, эти элементы не сохранились; в 1922 году величина их электродвижущей силы составляла около 1,016 вольта.

В октябре 1908 г. Н. Г. Егоровым и И. А. Лебедевым, при возвращении их с Лондонской Международной Конференции, были привезены элементы S_{14} , S_{15} , S_{16} , приготовленные F. E. Smith'ом в том же году. Из них два элемента

S_{14} и S_{15} были обратно увезены в 1910 г. в Национальную Физическую Лабораторию, а элемент S_{16} остался в Главной Палате.

В сентябре 1910 года, при возвращении из Англии после приготовления там нормальных элементов А. Б. Ферингер привезла элементы 2.15 и 1.19, изготовленные в 1908 г. из них сохранился элемент 2.15. В марте 1911 г. Ф. И. Блумбах привез элементы АС7 и АС8. В январе 1914 года М. Ф. Маликовым и Л. Н. Салтыковым привезены элементы 610, 611 и 612, приготовленные F. E. Smith'ом в ноябре 1913 года. Наконец в мае 1922 года Л. Д. Исаков привез элементы 2133, 2138, 2141 и 2142; эти элементы были изготовлены в 1921 г. с добавкой 0,1 нормальной серной кислоты.

Все элементы помещены в той же ванне, где находится эталонная группа, одновременно с последней над ними производятся наблюдения.

В таблице III приведены результаты сравнений элементов этой группы начиная с 1910 года. Их электродвижущая сила выражена в эталоне Главной Палаты.

§ 10. **Переносимые элементы Вестона.** В лабораторной практике в большом ходу другой тип элементов Вестона—так называемые „переносимые“ элементы (Weston portable cell), изготавливаемые фирмой Вестон, равно и другими фирмами. Эти элементы отличаются от описанных выше нормальных элементов Вестона тем, что они не содержат избытка кристаллов сернокислого кадмия; электролитом служит раствор сернокислого кадмия насыщенный при температуре около 4°C , а следовательно, ненасыщенный при более высокой температуре. Кроме того, у них имеется особое приспособление для предохранения от перемешивания входящих в их состав материалов, благодаря чему они и становятся переносимыми, для удобства в обращении элементы заключаются в металлический или деревянный футляр.

Этот тип элементов, по времени появления, старше элементов с насыщенным раствором сернокислого кадмия.

Элементы обладают ничтожно малым температурным коэффициентом, меньшим 1×10^{-5} вольта, которым в большинстве случаев можно при измерении пренебрегать, происходит это по той же причине, как и у нормальных элементов с насыщенным раствором (температурные коэффициенты обеих ветвей компенсируют друг друга), только у переносного элемента компенсация происходит гораздо полнее, необходимо следить, чтобы температура обеих ветвей была одинаковой. Сопротивление переносных элементов порядка 200—300 омов. Элементы с ненасыщенным раствором не так единообразны по электродвижущей силе, как элементы с насыщенным раствором; у находящихся в хорошем состоянии элементов она лежит в пределах от 1,0181 до 1,0191 вольта, составляя в среднем 1,0186 вольта. Кроме того у этих элементов наблюдается непрерывное уменьшение электродвижущей силы, достигающее порядка 1×10^{-4} вольта в год. Элементы сравнительно быстро стареют и через несколько лет после изготовления обычно становятся негодными к употреблению.

Этот недостаток особенно вредит нашим лабораториям, вынужденным выпивать нормальные элементы из-за границы. Нижеприведенные данные заимствованы из практики эталонной электрической лаборатории за 1923—24 г. по поверке переносных элементов различных фирм, главным образом фирмы Вестон.

1,01849	вольта	при	$17,5^{\circ}\text{C}$.
1,01847	.	.	$18,0^{\circ}$
1,01836	.	.	$16,4^{\circ}$
1,01835	.	.	$18,5^{\circ}$
1,01820	.	.	$18,5^{\circ}$
1,01801	.	.	$18,5^{\circ}$

Электронизирующая сила при 20° С в международных вольтгах.

№№ замен- тов.	Время при- готовления.	Время полу- чения в Лабо- рат. Лагате.	По ста- дану Найтов- Физич. Лаборат.											
			1910 г. Сензабур. А. В. Фе- рингер.	1911 г. Юнк. А. В. Фе- рингер.	1912 г. Сензабур. А. В. Фе- рингер.	1913 г. Ангер. А. В. Фе- рингер.	1915 г. Аурель. А. Глобод- ман.	1920 г. Ноберг. В. С. Та- берг.	1922 г. Ангер. Ю. Н. Бро- нов.	1923 г. Март. М. Ф. Ма- дсон.	1924 г. Юль. Е. С. Чу- паев.	1925 г. Юль. Е. С. Чу- паев.		
S. 15	1908 г.	X-1908 г.	—	1,01825	—	1,01821	1,01821	—	—	1,01814	1,01812	1,01812		
2.15	1908 г.	IX-1910 г.	—	1,01829	—	1,01830	1,01831	1,01832	1,01832	1,01831	1,01833	1,01833		
AC. 7	—	III-1911 г.	—	—	1,01829	—	1,01830	1,01832	1,01833	1,01831	1,01832	1,01831		
AC. 8	—	"	—	—	30	—	32	—	—	35	36	36		
610	1913 г.	I-1914 г.	1,01830	—	—	1,01830	1,01830	1,01830	1,01832	1,01831	1,01830	1,01833		
611	"	"	30	—	—	29	29	33	34	33	33	33		
612	"	"	30	—	—	30	30	30	31	29	20	09		
2133	1921 г.	V-1922 г.	1,01834	—	—	—	—	1,01825	1,01825	1,01826	1,01828	1,01828		
2138	"	"	24	—	—	—	—	28	28	26	28	28		
2141	"	"	24	—	—	—	—	28	28	27	28	29		
2142	"	"	24	—	—	—	—	28	28	26	28	28		

1,0174	вольта при 15,0° C.
1,0174	. . . 15,0°
1,0163	. . . 21,7°
0,672	. . . 16,4°

Результаты говорят сами за себя. В настоящее время Главная Палата мер и весов организовала в широком масштабе приготовление нормальных элементов Вестона с насыщенным раствором сернистого кадмия, и в ней производятся опыты по выработке типа портативного элемента, удовлетворяющего условиям транспорта в нашей обширной стране с ее огромными расстояниями.

Литература. Из всей обширной литературы, по нормальным элементам, в списке приводятся материалы имеющие главным образом документальный характер, а также относящиеся к работам национальных метрологических лабораторий, произведенным в эпоху, предшествующую Лондонской Конференции 1908 г. и непосредственно за ней следующую.

1. International Conference on Electrical Units and Standards, 1908. a) Minutes and Verbatim Report of the Meetings of the Delegates: together with the Final Report; b) Appendix to the Report. Notes to the Specifications as to the Methods adopted in various Standardizing Laboratories to realize the International Ohm and the International Ampere, and to prepare the Weston Normal Cell. London, 1909.

2. Report to the International Committee on Electrical Units and Standards of a Special Technical Committee appointed to investigate and report on the Concrete Standards of the International Electrical Units and to recommend a Value for the Weston Normal Cell. Washington 1912; Supplement to Report to the International Committee on Electrical Units and Standards of a Special Technical Committee. Washington, 1913.

3. Circular of the Bureau of Standards № 29. Announcement of a change in the Value of the International Volt, 1910.

4. Circular of the Bureau of Standards № 60. Electric Units and Standards, 1916.

5. Reports of the Committee on Electrical Standards appointed by the British Association for the Advancement of Science. Cambridge, 1913.

6. F. A. Wolff and C. E. Waters. Preliminary Specifications for Clark and Weston Standard Cells; Bull. of Bureau of Standards, Vol. 3, pp. 623—640, 1907.

7. F. A. Wolff and C. E. Waters. Clark and Weston Standard Cell; Bull. of Bureau of Standards, Vol. 4, pp. 1—80, 1907.

8. F. A. Wolff. The Temperature Formula of the Weston Standard Cell; Bull. of Bureau of Standards, vol. 5, pp. 309—337, 1908.

9. F. E. Smith. The Normal Weston Cadmium Cell; National Physical Laboratory Collected Researches, vol. IV, pp. 87—119, 1908.

10. F. E. Smith. On Cadmium Amalgams and the Weston Normal Cell. National Physical Laboratory Collected Researches, vol. VI, pp. 139—163, 1910.

11. W. Jaeger und St. Lindeck. Untersuchungen über Normalelemente, insbesondere über das Westonische Kadmium—Element; Zs. für Instrumentenkunde, 21, s. 33—49, 65—80, 1901.

12. W. Jaeger. Die Normalelemente und ihre Anwendung in der elektrischen Messtechnik. Halle, 1902.

13. H. von Steinwehr. Vorläufige Mitteilung über den Einfluss der Korngröße auf das elektromotorische Verhalten des Merkursulfats; Zs. für Instrumentenkunde, 25, s. 205—208, 1905.

14. E. Cohen. Die Normalelemente. Physik. Zs., XI, s. 852—855, 1910.

15. W. Jaeger und H. V. Steinwehr. Über die angebliche Unbrauchbarkeit des Westonschen Normalelementes. Zs. für Physik. Chemie, XCVII, Heft 4—6 s. 319—329, 1921.

16. М. Иванов. Нормальные элементы Латимера Кларка Главной Палаты мер и весов; Временник Гл. Палаты мер и весов. Часть 5, стр. 36—59, 1900.

17. Н. Егоров. Предварительные работы по приготовлению эталонов основных электрических единиц; Временник Главной Палаты мер и весов. Часть 10, стр. 122—131, 1911.

18. А. Б. Ферингер. Метод установления международных ампера и вольта при помощи серебряных вольтметров и нормальных элементов Вестона в Главной Палате мер и весов; Электричество, № 13, стр. 260—263, 1914.

19. P. Janet et R. Jouaust. L'élément étalon au cadmium; Travaux du Laboratoire Central d'Electricité, tome II, pp. 174—223, 1912.

20. R. Jouaust. Recherches faites au Laboratoire Central d'Electricité sur l'étalon de résistance et l'étalon de force électromotrice; Travaux du Laboratoire Central d'Electricité, tome II, pp. 347—366, 1912.

ТЕОРИЯ РАДИОМЕТРА И РАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ.

Л. Н. Богоявленский.

История радиометрической съемки и радиометрии находится в естественной и тесной связи с историей проникающей радиации, наблюдаемой в нижних слоях атмосферы близ поверхности земли и открытие которой может быть отнесено еще к эпохе Кулона, который первый констатировал факт утечки электрического заряда с металлического изолированного проводника и объяснил ее проводимостью атмосферного воздуха.

Одновременно с открытием явлений радиоактивности германские ученые Elster и Geitel применяют к газам теорию электролитической диссоциации и вводят представление о газовых ионах, присутствием которых и объясняется проводимость атмосферного воздуха. В то же время этими же учеными было констатировано присутствие в воздухе радиоактивных эманаций, которые первоначально и предполагались причиной ионизации атмосферного воздуха. Вслед за ними Ebert и затем Rutherford и Cooke ¹⁾ изучают ионизацию воздуха в герметически замкнутом сосуде и находят присутствие сильно проникающего излучения, источник которого находится вне сосуда. Дальнейшие работы в этом направлении M'Leenan'a и Burton'a ²⁾ показали, что ионизация известного объема воздуха в замкнутом сосуде сильно уменьшается, если окружить сосуд толстыми свинцовыми стенками, но что для толщины этих стенок существует предел, дальше которого уменьшения ионизации не замечается. Так, в опытах Cooke'a ³⁾ с латунным цилиндром потребовалась свинцовая оболочка в 5 см толщины, чтобы довести ионизацию газа внутри сосуда до предельной минимальной величины (67—70%) начальной ионизации.

Для измерения проникающей радиации обычно служат приборы, состоящие из герметически закрытых сосудов с находящимися внутри них электрометрами. Иногда внутрь сосуда вводится лишь тщательно изолированный электрод, который соединяется с внешним электрометром. Электрометр и соединенный с ним электрод заряжаются до высокого потенциала, достаточного для того, чтобы в ионизированном воздухе вызвать ток насыщения. Напряжение проникающей радиации выражается числом ионов, образующихся в одном см³ воздуха в секунду при нормальных условиях температуры и давления.

Очевидно, что ионизационный ток:

$$i = \frac{c \times \Delta V}{t}$$

где c — емкость системы и ΔV — падение потенциала в течение времени t сек.

Если потенциал выражен в вольтах, то $i = \frac{c \times \Delta V}{300 \times t}$ электрост. единиц.

¹⁾ Amer. Phys. Soc. Dec. 1902; Phys. Rev. 16, p. 183, 1903.

²⁾ Amer. Phys. Soc. Dec. 1902; Phys. Rev. 16, p. 184, 1903.

³⁾ Phil. Mag. 6 p. 403, 1903.

Если элементарный заряд иона $e = 4,65 \times 10^{-10}$ электрост. единиц, и v — объем в куб. см камеры, в которой происходит процесс ионизации, то:

$$q = \frac{i}{v \times e} = \frac{e \times \Delta V}{t \times 300 \times v \times 4,65 \times 10^{-10}} = \frac{e}{300 \times v \times 4,65 \times 10^{-10}} \times \frac{\Delta V}{t}$$

Коэффициент при $\frac{\Delta V}{t}$ вычисляется раз навсегда для данного прибора и представляет его константу.

Итак, можно написать:

$$q = K \times \frac{\text{вольт}}{\text{сек.}}$$

Интенсивность β и γ — излучений при прохождении через материю уменьшается, следуя показательному закону:¹⁾

$$I = I_0 e^{-kx}$$

где I_0 — интенсивность в произвольный начальный момент, $x=0$ и k — коэффициент поглощения.

Так как интенсивность излучения в то же время уменьшается обратно пропорционально квадрату расстояния, то можно написать:

$$I = \frac{I_0}{r^2} e^{-kr}$$

где r — расстояние от источника радиации, сосредоточенного в одной точке.

Рассмотрим теперь, каким образом можно вычислить интенсивность радиации в некоторой точке P , отдаленной от источника радиации, который представляет из себя некоторое тело определенного объема, содержащее активное вещество, равномерно в нем распределенное.

Если обозначить:

λ — коэффициент поглощения воздуха

k — « « « для тела

Q — количество активного вещества на элемент объема тела и

n_0 — число ионов, образуемых γ — лучами одного кюри радия в 1 см^3 воздуха при нормальных условиях температуры и давления на расстоянии 1 см , сосредоточенного в одной точке, при чем поглощение воздухом не принимается во внимание ($3,74 \times 10^9$), то напряжение радиации в точке P (рис. 1) от элемента объема dv будет:

$$dI = \frac{Q n_0 dv}{r^2} e^{-k(r-r_1) - \lambda r_1}$$

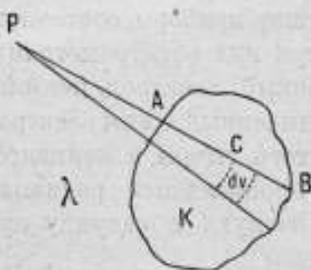


Рис. 1.

где $r_1 = PA$ и $r = PC$

Нетрудно видеть, что:

$$dv = r^2 \cdot d\omega \cdot dr$$

и, следовательно:

$$dI = Q n_0 e^{-k(r-r_1) - \lambda r_1} d\omega dr$$

где $d\omega$ — телесный угол, под которым виден из P элемент объема dv . Интегрируя наше выражение по dr , получаем общее напряжение радиации на единицу объема в точке P :

$$I = \int \frac{Q n_0}{k} e^{-\lambda r_1} \left(\int_{r_1}^{r_2} e^{-k(r-r_1)} dr \right) d\omega$$

или:

$$I = \frac{Q n_0}{k} \int e^{-\lambda r_1} (1 - e^{-k(r_2-r_1)}) d\omega$$

где $r_2 = PB$ (рис. 1).

¹⁾ King. Phil. Mag. 23, 1912, p. 242.

Вычисление этого выражения в большинстве случаев затруднительно.

Одним из тех случаев, когда вычисление интеграла возможно¹⁾, является радиация от активного бесконечного слоя с толщиной l , расположенного под другим слабо активным или неактивным слоем с толщиной h , при чем точка P находится на расстоянии z от поверхности слоя (рис. 2).

Пусть $EEFF$ слабоактивный слой толщиной h , покрывающий активный $EEGG$ толщиной l (рис. 2).

Вычислим напряжения проникающей радиации в точке P , находящейся на расстоянии z от поверхности слоя.

Очевидно, что полное напряжение проникающей радиации в точке P будет:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$$

где I_1, I_2, I_3 и I_4 суть соответствующие слагающие полной радиации, обусловленные: I_1 — радиацией нижнего слоя $EEGG$, I_2 — верхнего слоя $FFEE$, I_3 — окружающего воздуха и I_4 — активного налета, покрывающего поверхность земли.

1. *Вычисление*. I_1 — радиации от нижнего слоя $EEGG$.

Пусть $n_0 = 3,74 \times 10^9$ число ионов образованных в 1 см^3 в секунду от действия одного кюри радия, сосредоточенного в одной точке и находящегося на расстоянии 1 см от указанного объема воздуха, Q — среднее содержание радия в 1 см^3 породы.

Тогда напряжение радиации в точке P , обусловленное радиоактивными веществами, содержащимися в элементе объема dv , будет:

$$I_1 = \frac{Qn_0 dv}{r^2} e^{-k(r-r_2) - \mu(r_2-r_1) - \lambda r_1}$$

Нетрудно видеть, что:

$$dv = r^2 \cdot d\omega \cdot dr$$

где $d\omega$ — телесный угол, под которым виден из P элемент объема dv , при чем если ψ — угол, образованный прямой PA с PM , и φ — угол, образованный плоскостью чертежа с какой-либо определенной плоскостью, проходящей через PM , т. е. азимут прямой PA , то:

$$d\omega = \sin \psi \cdot d\psi \cdot d\varphi$$

и таким образом:

$$dI_1 = Qn_0 \sin \psi \cdot d\psi \cdot d\varphi \cdot dr \cdot e^{-k(r-r_2) - \mu(r_2-r_1) - \lambda r_1}$$

Интегрируя это выражение сначала по dr в пределах r_2 и r_3 , затем по $d\varphi$ от 0 до 2π , получим:

$$I_1 = \frac{2\pi Qn_0}{k} \int_0^{\frac{\pi}{2}} e^{-\lambda r_1 - \mu(r_2-r_1)} \left(1 - e^{-k(r_3-r_2)} \right) \sin \psi \cdot d\psi$$

Так как:

$$r_1 = z \operatorname{Sec} \psi \quad r_2 - r_1 = h \operatorname{Sec} \psi_1 \quad r_3 - r_2 = l \operatorname{Sec} \psi,$$

то:

$$I_1 = \frac{2\pi Qn_0}{k} \int_0^{\frac{\pi}{2}} e^{-(\lambda z + \mu h) \operatorname{Sec} \psi} \left(1 - e^{-\lambda l \operatorname{Sec} \psi} \right) \sin \psi \cdot d\psi$$

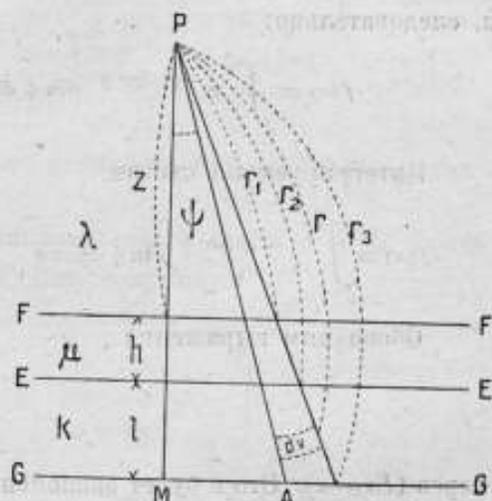


Рис. 2.

¹⁾ Оболенский. Геофизический Сборник. Т. IV вып. 1; King. Phil. Mag. 23, 1912, p. 242.

Очевидно, интегрирование последнего выражения сводится к вычислению нескольких интегралов вида:

$$f(x) = \int_0^{\frac{\pi}{2}} e^{-x \operatorname{Sec} \psi} \sin \psi \, d\psi$$

Введем для этого новую переменную u так, чтобы:

$$x \operatorname{Sec} \psi = u$$

тогда:

$$\sin \psi \, d\psi = \frac{x}{u^2} \, du$$

и, следовательно:

$$f(x) = \int_0^{\frac{\pi}{2}} e^{-x \operatorname{Sec} \psi} \sin \psi \, d\psi = \int_0^{\infty} e^{-u} \frac{du}{u^2} = x \int_x^{\infty} \frac{e^{-u}}{u^2} \, du$$

Интегрируем по частям:

$$f(x) = \int_0^{\frac{\pi}{2}} e^{-x \operatorname{Sec} \psi} \sin \psi \, d\psi = e^{-x} - x \int_x^{\infty} \frac{e^{-u}}{u^2} \, du = e^{-x} + x \int_x^{\infty} \frac{e^{-u}}{u^2} \, du$$

Обозначим выражение

$$\int_x^{\infty} \frac{e^{-u}}{u^2} \, du$$

через $(E_1 - x)$. Это и будет экспоненциальный интеграл Glaisher'a, для которого им вычислены таблицы¹⁾

Очевидно:

$$f(x) = e^{-x} + x E_1(-x)$$

Нетрудно видеть теперь, что:

$$I_1 = \frac{2\pi Q_{n_0}}{\kappa} \left\{ (\lambda z + \mu h) - f(\lambda z + \mu h \kappa l) \right\}$$

Вычисления показывают, что значения $f(x)$ с увеличением x быстро убывают и при $x=10$, $f(x)$ почти равна 0. Следовательно, если $h > 100$ см, то, полагая $k=0,1$ см⁻¹, $f(\lambda z + \mu h + k l)$ можно считать равной нулю.

Если допустим поэтому, что Q представляет собою среднее содержание радия в поверхностном слое с толщиной в 1 метр, то, имея в виду, что ниже лежащие слои уже не оказывают заметного влияния на I , мы можем положить $l = \infty$ и, так как $f(\infty) = 0$, то получим:

$$I_1 = \frac{2\pi \lambda n_0}{\kappa} f(\lambda z + \mu h)$$

2. Вычисление I_2 — радиации от покрывающего слоя.

Рассуждая совершенно аналогично предыдущему и предположив, что в каждом см³ слоя содержится Q_1 радия, получим для проникающей радиации в точке от покрывающего слоя следующее значение:

$$I_2 = \frac{2\pi Q_{n_0}}{\mu} \left\{ f(\lambda z) - f(\lambda z + \mu h) \right\}$$

3. Вычисление I_3 — напряжения радиации от радиоактивных эманаций воздуха.

¹⁾ Phil. Trans. p. 367. 1870. Lach Miller and Rosenberg. Trans. Roy. Soc. Canada, Sect. III, p. 73, 1903.

Если Q_2 — соответствующее содержание emanаций в воздухе то принимая во внимание, что $f(0) = 1$, найдем, что значение напряжения проникающей радиации, испускаемой всем слоем воздуха, расположенным ниже P , будет:

$$I_3' = \frac{2\pi Q_2 n_0}{Q} \{ 1 - f(\lambda z) \}$$

и для остальной массы атмосферы:

$$I_3'' = \frac{2\pi Q_2 n_0}{Q}$$

Таким образом, для всей массы воздуха:

$$I_3 = \frac{2\pi Q_2 n_0}{Q} \{ 2 - f(\lambda z) \}$$

4. Вычисление I_4 — напряжения радиации от активного налета, покрывающего поверхность земли.

Пусть поверхность FF (рис. 3) покрыта радиоактивным слоем $\gamma \frac{\text{кюри}}{\text{см}^2}$. Тогда, обозначая через ds элемент поверхности этого слоя, получим:

$$I_4 = \iint \frac{\gamma n_0 ds}{r^2} e^{-\lambda r}$$

Так как:

$$ds = r d\varphi dr$$

то:

$$I_4 = \iint \frac{\gamma n_0 r d\varphi dr}{r^2} e^{-\lambda r}$$

Интегрируя по $d\varphi$ от 0° до 2π , получим:

$$I_4 = 2\pi \gamma n_0 \int_0^\infty \frac{r dr}{r^2} e^{-\lambda r}$$

Если теперь подставим:

$$r = z \operatorname{Sec} \psi \quad \text{и} \quad \rho = z \operatorname{tg} \psi,$$

то:

$$I_4 = 2\pi \gamma n_0 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \operatorname{tg} \psi d\psi \int_0^\infty \frac{e^{-\lambda z \operatorname{Sec} \psi}}{\operatorname{Sec} \psi} du$$

Введем новую переменную u так, чтобы:

$$\lambda z \operatorname{Sec} \psi = u$$

тогда:

$$I_4 = 2\pi \gamma n_0 \int_{\lambda z}^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du = -2\pi \gamma n_0 \operatorname{Ei}(-\lambda z)$$

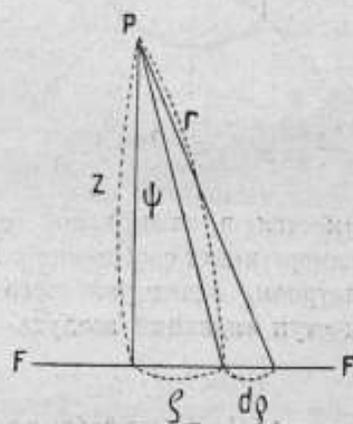


Рис. 3.

Таким образом, полное напряжение проникающей радиации в точке P будет:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 2\pi n_0 \left\{ \frac{Q}{x} f(\lambda z + \mu h) + \frac{Q_1}{\mu} f(\lambda z) - \frac{Q_1}{\mu} f(\lambda z + \mu h) + \frac{2Q_2}{\lambda} - \frac{Q_2}{\lambda} f(\lambda z) - \gamma \operatorname{Ei}(-\lambda z) \right\}^4$$

Изложенная теория плоского излучающего слоя King'a относится к действию излучения на точку, находящуюся на некотором расстоянии от излучающего тела. Та же теория, с некоторыми изменениями, может быть применена и к радиометру.

⁴⁾ Оболенский, Геофизический Сборник т. IV, вып. 1.

Отличие радиометра от других приборов, употребляемых для измерений проникающей радиации земли, состоит в том, что при его помощи учитываются все действующие излучения — как вертикальные так и горизонтальные — почему возможно найти интенсивность радиаций точки, находящейся под аппаратом и опре-

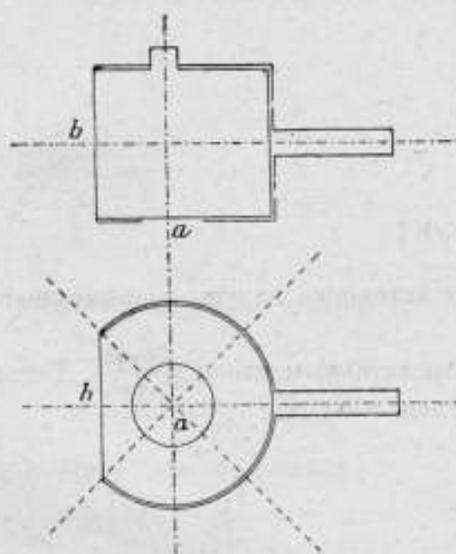


Рис. 4.

делить направление, по которому надо следовать, чтобы найти источник радиации. Корпус аппарата (рис. 4) может вращаться вокруг вертикальной оси, при чем угол поворота отчитывается на лимбе, составляющем с ним одно целое.

Стенки аппарата покрыты свинцовыми поглощающими излучения оболочками, при чем имеются два окна, закрытые слабо поглощающими тонкими листками из алюминия. Нижнее окно *a*, предназначенное для вертикальных или почти вертикальных излучений, круглой формы и может закрываться свинцовой пластинкой. Боковое окно *b* имеет форму прямоугольника и устроено таким образом, чтобы лучи, проходящие через центр аппарата, попадали в него под углом в 90° . Боковое окно закрывается по желанию свинцовой шторкой, имеющей в центре отверстие для освещения листка электроскопа. Такое же отверстие, закрытое тонким листком слюды,

Градирование.

А. Излучения горизонтальные или почти горизонтальные.

Если поместить ампулу с радием на некотором расстоянии от радиометра и, поворачивая аппарат вокруг вертикальной оси, делать измерения через каждые 5° — 10° , то можно увидеть резкое изменение напряжения, в зависимости от положения оси аппарата. Напряжение будет максимальным тогда, когда радий очутится перед боковым окном, и минимальным — при повороте на угол в 180° (рис. 5).

Если изобразить графически полученные результаты измерения напряжения, то получим кривую, представленную на рис. 6; эта кривая образована концами векторов пропорциональных напряжению, отложенными из центра *O*. Наиболее длинные векторы находятся в участке кривой заключающемся между 0° и 90° , причем максимум будет на векторе, соответствующем углу в 45° .

Мы называем этот участок кривой квадрантом наибольшего напряжения и направление наибольшего напряжения азимутом наибольшего напряжения.

Два симметричных участка кривой между углами 90° и 135° и 315° и 0° образуют векторами значительно меньшей длины, вследствие того, что в этих участках находятся косые излучения, ионизирующие воздух в более слабой степени.

Из полученной таким образом кривой при помощи графического интегрирования можно вычислить:

- 1) Коэффициент поглощения стенками прибора *n*, т. е. отношение непоглощенного излучения к поглощенному.
- 2) Коэффициент косого излучения *n'*, т. е. отношение косого излучения к поглощенному.

В. Излучения вертикальные или почти вертикальные.

Эти излучения могут проникать в камеру или через нижнее окно или через верхнюю крышку аппарата.

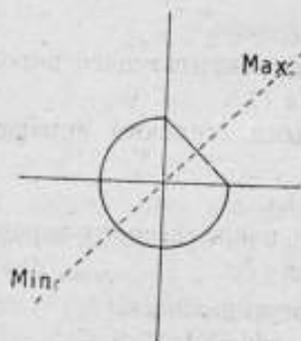


Рис. 5.

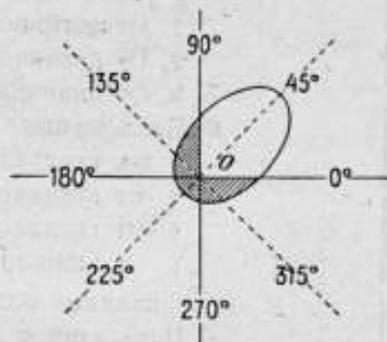


Рис. 6.

1) Если поместить ампулу с радием под аппаратом и измерять напряжения соответственно с ее перемещениями на определенные расстояния от *O* по прямой *OC* (рис. 7) в ту или другую сторону от точки *O*, то увидим, что максимум напряжения будет соответствовать точке *O*, находящейся на продолжении вертикальной оси аппарата, и оно постепенно уменьшается по мере удаления от центра (рис. 8).

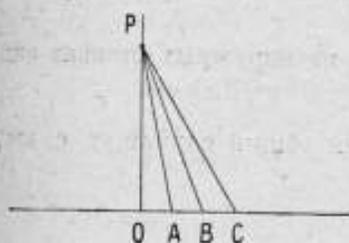


Рис. 7.

Если закрыть нижнее окно свинцовым фильтром и проделать ту же операцию, то получим такое же изменение для поглощенного излучения.

Очевидно, что коэффициент поглощения фильтром *m* выразится в виде отношения площадей кривых $\frac{N}{M}$.

Для большей точности определения коэффициента *m* необходимо сделать измерение напряжения по различным направлениям и взять среднее значение из них.

2) Совершенно аналогичным же способом делаются определения коэффициента поглощения *m'* верхней стенки аппарата при помощи другого свинцового фильтра, помещенного сверху.

С. Если аппарат соединен с землей, то он обладает отрицательным потенциалом, и поэтому на наружных стенках его оседают радиоактивные индукции, т.е. продукты распада эманации радия, содержащейся в воздухе.

Чтобы можно было учесть действие этих индукций, необходимо сделать соответственное градуирование, поместив аппарат под колокол и впустив в него определенное количество эманации. Измеренное напряжение *S*, будет соответствовать количеству эманации *e* в 1 см³ воздуха.



Рис. 8.

Итак, на радиометр действуют три характерных группы излучений:

A. Горизонтальные или почти горизонтальные.

B. Вертикальные или почти вертикальные.

C. От активного налета, осевшего на наружные стенки аппарата.

При более детальном рассмотрении эти три группы представляются следующей таблицей, в которой изменена до сих пор принятая терминология.

Излучения, действующие на радиометр.

- | | | |
|---|---|--|
| Изменяются при вращении вокруг вертикальной оси аппарата. | } | A. Горизонтальные или почти горизонтальные (I_A). |
| | | a) Непоглощенные стенками аппарата в районе 1 квадранта (I_a). |
| | | 1. От активного тела (I_1). |
| | | 2. От активного налета, покрывающего породу (I_2). |
| | | 3. От эманаций воздуха (I_3). |
| | | b) Поглощенные остальными стенками аппарата в районе 3-х квадрантов (I_b). |
| Остаются постоянными при любом положении аппарата. | } | B. Вертикальные или почти вертикальные (I_B). |
| | | c) Попадающие в нижнее окно (I_c). |
| | | 7. От активного тела (I_7). |
| | | 8. От активного налета, покрывающего породу (I_8). |
| | | 9. От эманаций воздуха (I_9). |
| | | d) Попадающие через верхнюю стенку аппарата (I_d). |
| | | 10. От активного тела (I_{10}). |
| | | 11. От активного налета, покрывающего породу (I_{11}). |
| | | 12. От эманаций воздуха (I_{12}). |
| | | C. От активного налета, осевшего на наружных стенках аппарата (I_c). |

Для вычисления этих слагающих возьмем самый общий случай, т. е. когда они имеются все в наличии:

$$I = I_A + I_B + I_C,$$

при чем слагающие I_B и I_C останутся постоянными при любом азимуте аппарата. Следовательно:

$$I_A = I - (I_B + I_C).$$

Вычислим сначала напряжение вертикальных радиаций I_B и напряжение от активного налета, осевшего на наружных стенках аппарата, I_C .

Вычисление

$$I_B = I_c + I_d$$

Если напряжение общей радиации:

$$I = I_A + I_c + I_d + I_C,$$

то в случае излучения, попадающего в нижнее окно, при употреблении фильтра оно уменьшится и будет:

$$I' = I_A + mI_c + I_d + I_C.$$

Вычитаем равенство второе из первого:

$$I - I' = I_c(1 - m)$$

откуда:

$$I_c = \frac{I - I'}{1 - m}$$

Совершенно аналогично рассуждаем в случае излучения, попадающего через верхнюю стенку прибора. При употреблении фильтра оно будет:

$$I'' = I_A + I_c + I_d + I_C.$$

Откуда $I_d = \frac{I - I''}{1 - m'}$, где m' — коэффициент поглощения верхним фильтром.

Вычисление I_c — напряжения от радиации активного налета, осевшего на наружных стенках аппарата.

Если известно напряжение I_e , соответствующее содержанию e гр. R_a на 1 см^3 воздуха, то, определив содержание q радия в воздухе при помощи метода активации проволоки, которой сообщен высокий потенциал, или какого либо другого, получим:

$$I_c = \frac{I_e \times q}{e}$$

Определение горизонтального напряжения I_A .

Пусть a, b, c, d — наблюдаемые напряжения полученные, при помощи измерений поворачивая ось аппарата каждый раз на 90° (рис. 9). Очевидно, что эти значения не будут соответствовать напряжениям в районе квадрантов, так как в них входят, кроме I_B и I_C , косые излучения в районе двух соседних полуквадрантов.

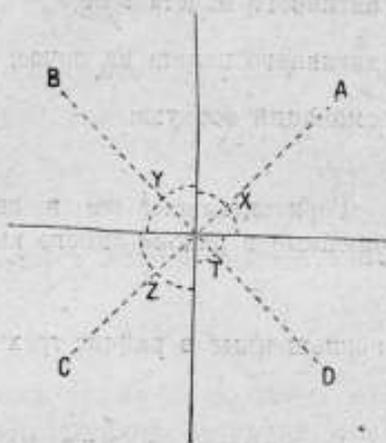


Рис. 9.

Обозначим через nx, ny, nz, nt значения непоглощенных излучений в районе 4-х квадрантов, где n — коэффициент поглощения стенками. Если n' — коэффициент косого излучения, то можно написать:

$$a = nx + \frac{n'y}{2} + \frac{y}{2} + z + \frac{t}{2} + \frac{n't}{2} = nx + \frac{n'+1}{2}y + z + \frac{n'+1}{2}t$$

$$b = ny + \frac{n'z}{2} + \frac{z}{2} + t + \frac{x}{2} + \frac{n'x}{2} = \frac{n'+1}{2}x + ny + \frac{n'+1}{2}z + t$$

$$c = nz + \frac{n't}{2} + \frac{t}{2} + x + \frac{y}{2} + \frac{n'y}{2} = x + \frac{n'+1}{2}y + nz + \frac{n'+1}{2}t$$

$$d = nt + \frac{n'x}{2} + \frac{x}{2} + y + \frac{z}{2} + \frac{n'z}{2} = \frac{n'+1}{2}x + y + \frac{n'+1}{2}z + nt$$

Полагая, для сокращения письма:

$$\frac{n'+1}{2} = p$$

получим 4 уравнения:

$$a = nx + py + z + pt$$

$$b = px + ny + pz + t$$

$$c = x + py + nz + pt$$

$$d = px + y + pz + nt$$

Решая эти уравнения относительно x, y, z, t и полагая, для сокращения письма:

$$n(n+1) - 2p^2 = \alpha$$

$$p(n-1) = \beta$$

$$2p^2 - (n+1) = \gamma$$

$$(n-1)[(n+1)^2 - 4p^2] = \delta$$

получаем значения для x, y, z, t :

$$x = \frac{\alpha a + \gamma c - \beta(b+d)}{\delta}$$

$$z = \frac{\gamma a + \alpha c - \beta(b+d)}{\delta}$$

$$y = \frac{\alpha b + \gamma d - \beta(a+c)}{\delta}$$

$$t = \frac{\gamma b + \alpha d - \beta(a+c)}{\delta}$$

Помножая значения x, y, z, t на n и вычитая $J_B + J_C$, из каждого значения получим истинные значения для непоглощенного горизонтального излучения в районе каждого квадранта:

$$x' = nx \times I_B + I_C$$

$$y' = ny \times I_B + I_C$$

$$z' = nz \times I_B + I_C$$

$$t' = nt \times I_B + I_C$$

Таким образом, нам известны слагающие I_A , I_B и I_C . Из них I_A и I_C каждая в свою очередь делится на три группы:

от активного налета тела:

$$(I_1, I_4, I_7, I_{10})$$

от активного налета на почве:

$$(I_2, I_5, I_8, I_{11})$$

от эманаций воздуха:

$$(I_3, I_6, I_9, I_{12})$$

Горизонтальные же в свою очередь подразделяются на две группы, поглощенные в районе одного квадранта:

$$(I_1, I_2, I_3)$$

и поглощенные в районе трех квадрантов:

$$(I_4, I_5, I_6)$$

В случае горизонтальных излучений:

$$I_A - I_C + I_B = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6$$

Очевидно, что:

$$I_A = x' = nx - (J_B + I_C)$$

и

$$I_B = \frac{y' + z' + t'}{n}$$

Применяя формулу King'a:

$$I_1 = \frac{2\pi Q n_0}{\kappa} f(\lambda z_1 + \mu h) + \frac{2\pi Q_1 n_0}{\mu} \{ f(\lambda z_1) - f(\lambda z_1 + \mu h) \},$$

где первая часть — напряжение от активного слоя и вторая — напряжение от покрывающей породы. Q и Q_1 — соответствующие содержания радия в активной и покрывающей породах.

$$J_B = -2\pi \eta n_0 Ei(-\lambda z_1)$$

где η — плотность активного налета на 1 см^2 , вычисляемая из содержания эманаций в воздухе.

$$I_2 = \frac{2\pi q n_0}{\lambda} \{ 1 - f(\lambda z_1) \}$$

где q — содержание эманаций в воздухе и z_1 — расстояние от поверхности породы до бокового окна аппарата.

Таким образом:

$$I_A = nx - (J_B + I_C) = \frac{2\pi Q n_0}{\kappa} f(\lambda z_1 + \mu h) + \frac{2\pi Q_1 n_0}{\mu} \{ f(\lambda z_1) - f(\lambda z_1 + \mu h) \} - 2\pi \eta n_0 Ei(-\lambda z_1) + \frac{2\pi q n_0}{\lambda} \{ 1 - f(\lambda z_1) \},$$

где неизвестной может быть Q — содержание радия в активной породе.

Совершенно аналогичным образом, применяя формулу King'a, можно вычислить слагающую I_B — поглощенное горизонтальное излучение в районе трех квадрантов:

$$I_B = \frac{1}{n} (y' + z' + t')$$

В случае вертикальных излучений, если $I_C = \frac{I - I'}{1 - m}$ — напряжение радиаций, попадающих в нижнее окно, то:

$$I_C = I_7 + I_8 + I_9$$

где I_7 , I_8 , I_9 — напряжения излучений от активного тела, активного налета и эманаций в воздухе.

Совершенно аналогично предыдущему:

$$I_7 = \frac{2\pi Q n_0}{k} f(\lambda z + \mu h) + \frac{2\pi Q_1 n_0}{\mu} \left\{ f(\lambda z) - f(\lambda z + \mu h) \right\}$$

где Q и Q_1 — содержание радия в активной породе и покрывающем слое и z — расстояние аппарата от земли.

$$I_8 = -2\pi \eta n_0 E_i(\lambda z)$$

и

$$I_9 = \frac{2\pi q n_0}{k} \left\{ 1 - f(\lambda z) \right\}$$

Точно также можно вычислить все три слагающие напряжений излучений, попадающих через верхнюю стенку аппарата:

$$I_d = I_{10} + I_{11} + I_{12}$$

Изложенный общий случай может быть применим только тогда, когда приходится считаться с повышенным содержанием радиоактивных эманаций в воздухе, что бывает только в закрытых подземных помещениях, где нет достаточной вентиляции.

Вычисления значительно упрощаются, если измерения делаются в открытом поле.

По вычислениям В. Н. Оболенского¹⁾, если принять содержание эманаций в воздухе равным 83×10^{-18} кюри на см^3 , то напряжение радиации в точке P со всех сторон будет порядка 0,1 иона $\frac{\text{см}^3}{\text{сек}}$. Напряжение же от активного налета на поверхности земли должно быть порядка 0,01 иона $\frac{\text{см}^3}{\text{сек}}$.

Практически этими величинами можно пренебречь и можно принять, что на аппарат действуют только следующие три типа излучений от активной породы: горизонтальные непоглощенные стенками прибора в районе одного квадранта (I_1), горизонтальные поглощенные стенками прибора в районе трех квадрантов (I_4), вертикальные попадающие через нижнее окно (I_7).

Все же остальные слагающие можно принять равными нулю.

Изучение этих трех слагающих входит в операцию, которую мы назовем радиометрической съемкой.

Радиометрическая съемка местности состоит в определении напряжения вертикальной радиации в пункте, который наносится затем на план. По данным измерений возможно провести линии с одинаковым напряжением радиации (изорады), по которым возможно сделать ооконтуривание района с повышенным напряжением радиации.

Первая операция состоит в определениях на специально выбранном пункте квадранта наибольшего напряжения и азимута наибольшего напряжения. Это является необходимым в виду того, что места с повышенной радиоактивностью, даже в ровной местности, могут давать излучения почти горизонтальные и попадающие в боковое окно, если они достаточно удалены от аппарата.

Азимут наибольшего напряжения указывает направление, по которому надо следовать, чтобы найти активное залегание. Измерения делаются по мере приближения к нему.

Если при употреблении нижнего фильтра будет замечаться уменьшение напряжения, то это означает, что начинают действовать вертикальные излучения, попадающие в нижнее окно. Напряжения вертикальных излучений вычисляются, как было указано выше, и выражаются в абсолютных единицах, т.-е. числом ионов в $\frac{\text{см}^3}{\text{сек}}$.

¹⁾ Оболенский. Геофизический Сборник, т. IV, вып. 1

ПРИБОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМА ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ.

М. Ф. Маликов.

Определение объема тел вращения (например, гирь) при помощи вычисления по линейным размерам, в случае более или менее сложной их конфигурации, представляет трудную и довольно кропотливую задачу. Работа значительно облегчается описанным ниже прибором, который может быть приспособлен для измерения объема тел вращения как по чертежам, так и в натуре.

Как известно, объем тела вращения выражается интегралом:

$$V = \pi \int_{x_1}^{x_2} y^2 dx,$$

где $y = f(x)$ представляет собой уравнение образующей. Таким образом прибор есть интегратор, но он отличается от планиметров тем, что служит для нахождения интегралов, у которых подинтегральная функция берется в квадрате.

На рис. 1 и 2 представлен полусхематический вид прибора. Здесь мы видим два горизонтальных диска M и N , которые могут вращаться во-

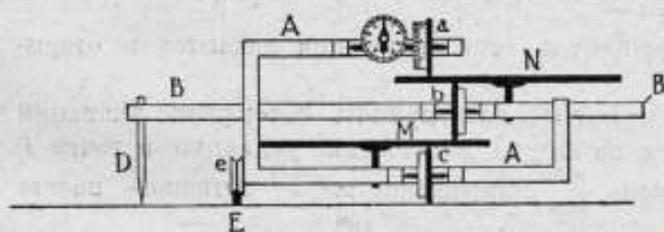


Рис. 1.

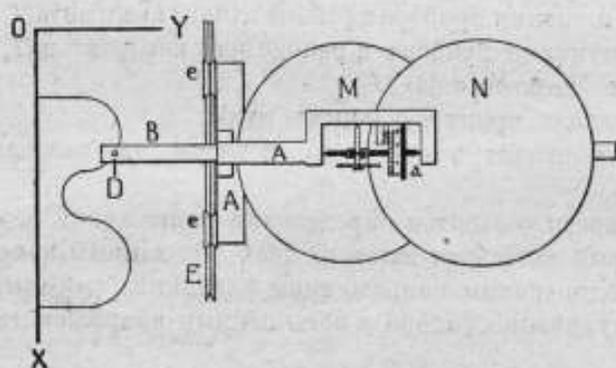


Рис. 2.

круг вертикальных осей, и три вертикальных колесика a , b и c , вращающихся вокруг горизонтальных осей и находящихся в непосредственном соприкосновении с дисками. Все оси колесиков расположены в одной вертикальной плоскости, проходящей также через диаметры дисков. Колесико a снабжено приспособлением для регистрации оборотов и долей оборота. При помощи рамы A удерживается неизменным взаимное расположение диска M и колесиков a и c . Другая рама B сохраняет неизменным взаимное положение диска N и колесика b . Эта рама может двигаться справа налево и обратно, при чем направление ее движения совпадает с направлением оси колесика b . На одном конце рамы B имеется острей D , которым обводится образующая поверхности вращения.

При определенном положении рамы B острей D находится на оси абсцисс OX (оси вращения), и в то же время точка соприкосновения окружности колесика b совпадает с центром диска M , а точка соприкосновения окружности колесика c с центром диска N . Весь прибор может перемещаться параллельно оси абсцисс; его движение направляется парой роликов e , катящихся по рельсу E . При движе-

нии рамы *B* вправо или влево колесико *b* скользит по диску *M* не вращаясь, равным образом не вращается при этом колесико *a*. При вращении же дисков *M* и *N* колесики *a* и *b* вращаются без скольжения. При движении прибора по рельсу *E* параллельно оси *OX* колесико *c*, опирающееся на плоскость чертежа, будет вращаться, при чем каждая точка его окружности опишет путь, равный пути, пройденному осью.

Пусть острее *D* находится на кривой в точке, имеющей ординату *y*; в этом случае точка соприкосновения окружности колесика *b* с диском *M* будет находиться на расстоянии *y* вправо от центра диска *M*; на том же расстоянии *y* влево от центра диска *N* будет находиться точка соприкосновения окружности колесика *a* с диском *N*. Положим, что радиус колесика *a* есть *r*, радиус колесика *b* есть *r*₁ и радиус колесика *c* есть *r*₂, а неизменные расстояния точек соприкосновения окружностей колесиков *b* и *c* от центров соответствующих дисков суть *n* и *m*. При перемещении прибора параллельно оси абсцисс *OX* на величину *dx* колесико *c* повернется вокруг оси на некоторый угол *dφ*₂; вращение колесика *c* вызовет вращение диска *M* на угол *dφ*₁, вращение диска *M* вызовет вращение колесика *b* на угол *dφ*₃, это вращение вызовет вращение диска *N* на угол *dφ*₄, и, наконец, последнее вращение вызовет поворот колесика *a* на угол *dω*. Предполагая, что при всех этих вращении не происходит скольжения, мы получаем ряд очевидных равенств:

$$\begin{aligned} dx &= r_1 d\varphi_1 \\ r_1 d\varphi_1 &= m d\varphi_2 \\ y d\varphi_2 &= r_2 d\varphi_3 \\ r_2 d\varphi_3 &= n d\varphi_4 \\ y d\varphi_4 &= \rho d\omega \end{aligned}$$

Из этих равенств вытекает следующая зависимость между движениями первого и последнего звеньев механизма:

$$y^2 dx = mn\rho d\omega \dots \dots \dots (1)$$

Если острее *D* будет двигаться по кривой, то *y* будет изменяться, как функция от *x*. Интегрируя (1) в пределах от *x*₁ до *x*₂ (начальная и конечная точки образующей), получим:

$$\int_{x_1}^{x_2} y^2 dx = \int_{\omega_1}^{\omega_2} mn\rho d\omega = mn\rho (\omega_2 - \omega_1) \dots \dots \dots (2)$$

Формулы (1) и (2) показывают, что размеры колесиков *b* и *c* не входят в результат; они могут быть даже не совсем правильной формы, лишь бы не было скольжения.

Умножив обе части формулы (2) на π, мы получим в левой части равенства выражение объема тела вращения:

$$V = \int_{x_1}^{x_2} \pi y^2 dx = \pi mn\rho (\omega_2 - \omega_1) \dots \dots \dots (3)$$

Величина (ω₂ - ω₁) есть разность отчетов счетного механизма колесика *a* в начале и в конце измерения; произведение πmnρ — величина постоянная, зависящая от размеров и расположения отдельных частей прибора. Этим частям можно наперед задать такие размеры, чтобы разность отчетов непосредственно давала величину объема в кубических мерах ¹⁾.

¹⁾ На рис. 5 изображена модель прибора, построенного автором с целью убедиться в правильности изложенных выше соображений. Одно деление барабана колесика *a*, разделенного на 100 частей, было задано равным 1 куб. см и *m* сделано равным *n*; в этом случае формула (3) дает:

$$V = \pi m^2 r \frac{2\pi}{100}$$

откуда при *r* = 1,12 см должно быть: *m* = 2,13 см.

Прибор, очевидно, будет показывать объем тела вращения независимо от формы образующей. Так, например (рис. 3), для определения объема кольца, получающегося при вращении круга $ABCD$ вокруг оси OX , нужно обвести острым D контур круга в определенном направлении (например, по часовой стрелке в зависимости от конструкции прибора). При движении острей от точки A через B к C показания прибора будут увеличиваться; они дадут объем тела вращения площади x_1ABCx_2 ; при дальнейшем движении острей от точки C через D к точке A прибор будет двигаться в обратном направлении, и показания его будут уменьшаться. Уменьшение показаний будет соответствовать объему тела вращения площади Cx_2x_1ADC . В результате прибор покажет разность между первым и вторым объемами, т. е. искомый объем кольца.

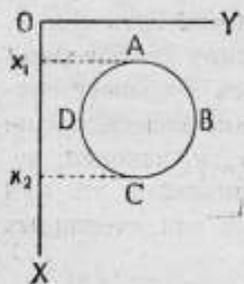


Рис. 3.

Для определения объема тел вращения в натуре удобнее прибор, изображенный

полусхематически на рис. 4, у которого квадрат подинтегральной функции получается иным приемом. Здесь мы имеем также два диска M и N и три колесика a , b и c , но иначе расположенных. Диск M расположен вертикально, и на одной оси с ним закреплено колесико c ; диск N горизонтален и имеет общую ось с колесиком b . Колесико a , снабженное счетным механизмом, находится в подвижной оправе F ; на него опирается под действием силы тяжести диск N . При движении оправы F

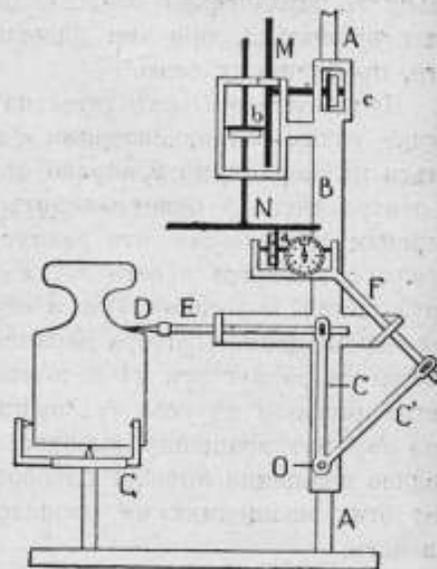


Рис. 4.

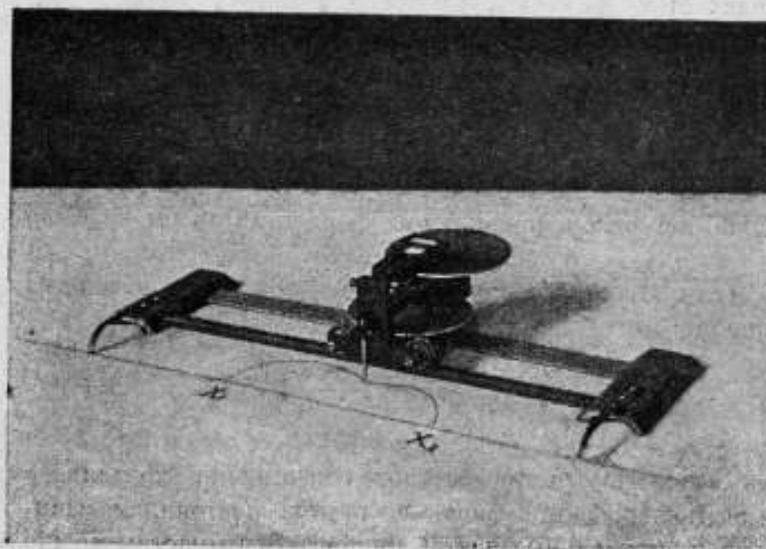


Рис. 5.

диск N перемещается вверх или вниз, при чем колесико b остается в соприкосновении с диском M . Движение оправы F производится посредством одного плеча рычага CC' , вращающегося около точки O ; другое плечо связано с острым D , опирающимся на контур тела вращения. Все части прибора находятся в оправе B , которая может перемещаться вдоль вертикального стержня A параллельно оси вращения тела, установленного на столике G . Плечи рычага расположены под углом 45° друг к другу, тот же угол существует между направлениями движений острей D и оправы F . Когда острый D находится на оси тела вращения, точки соприкосновения окружностей колесиков b и a совпадают с центрами соответствующих дисков. Обозначим через p и q длины перпендикуляров, опущенных из точки вращения O рычага на

диск N перемещается вверх или вниз, при чем колесико b остается в соприкосновении с диском M . Движение оправы F производится посредством одного плеча рычага CC' , вращающегося около точки O ; другое плечо связано с острым D , опирающимся на контур тела вращения. Все части прибора находятся в оправе B , которая может перемещаться вдоль вертикального стержня A параллельно оси вращения тела, установ-

направления движений стержней E и F ; тогда, если острей D отодвинется от оси вращения на величину y , стержень F переместится вдоль самого себя на величину $f = \frac{q}{p} y$. Отношение $\frac{q}{p} = \alpha$ представляет как бы масштаб прибора. Пользуясь тем же прибором, но меняя всякий раз отношение $\frac{q}{p}$ (масштаб α), мы сможем определять объемы самых различных по размерам тел вращения. Перемещение стержня F вызовет перемещение вправо точки соприкосновения окружности колесика a с диском N и, одновременно с этим, перемещение вниз диска N и точки соприкосновения окружности колесика b с диском M . Величина перемещения в обоих случаях равна:

$$\frac{\sqrt{2}}{2} f = \frac{\sqrt{2}}{2} xy$$

Итак, получение квадрата подынтегральной функции достигается здесь разложением движения острей D , по правилу параллелограмма, на два равных взаимно перпендикулярных движения.

Предположим, что прибор переместится вдоль стержня A на величину dx , тот же путь пройдет любая точка окружности колесика c , которое повернется на угол $d\varphi_1$ вместе с диском M . Вращение диска M вызовет вращение колесика b и диска N на угол $d\varphi_2$, вращение диска N вызовет, в свою очередь, вращение колесика a на угол $d\omega$. Если радиусы колесиков a , b и c суть соответственно ρ , r_b и r_c , то, подобно предыдущему, мы можем составить, предполагая отсутствие скольжения, следующий ряд равенств:

$$dx = r_c d\varphi_1$$

$$\frac{\sqrt{2}}{2} xy d\varphi_1 = r_b d\varphi_2$$

$$\frac{\sqrt{2}}{2} xy d\varphi_2 = \rho d\omega$$

Откуда:

$$y^2 dx = 2 \frac{\rho r_b r_c}{x^2} d\omega \dots \dots \dots (1)$$

Умножая обе части равенства (1) на π и интегрируя, получим:

$$V = \pi \int_{x_1}^{x_2} y^2 dx = \frac{2\pi \rho r_b r_c}{x^2} (\omega_2 \omega_1) + \dots \dots \dots (3)$$

Здесь выражение, стоящее перед скобками правой части равенства, — величина постоянная, зависящая от размеров прибора. Изменяя форму и способ применения острей D , можно прибор приспособить для самых разнообразных конфигураций тел вращения, а также для измерения емкостей сосудов.

О СОВРЕМЕННЫХ СПОСОБАХ ПОВЕРКИ ВОЛНОМЕРОВ.

В. С. Габель.

Применение радиопередачи непрерывно разрастается, строятся все новые и новые станции, выбрасывающие в атмосферу сотни и тысячи киловатт электро-магнитной энергии. В мире волн становится тесно. Приходится уже заботиться не столько о том, чтобы обеспечить надежную связь между двумя корреспондирующими радиостанциями (надежная связь в настоящее время уже возможна с антиподами и даже на большие расстояния, чем половина дуги меридиана), как в доброе старое время, сколько стараться отделаться от чужой мешающей станции. К счастью, применяемые теперь преимущественно незатухающие волны, помимо своей способности покрывать большие расстояния и других преимуществ перед затухающими колебаниями, дают возможность более острой настройки приемной радиостанции и тем облегчают задачу радиотехника. Тем не менее, в некоторых случаях и этого бывает недостаточно; приходится измышлять довольно сложные схемы для того, чтобы насколько возможно увеличить селективность приемника, тем более, что приемник, могущий выделить только очень узкую зону из

спектра волн, дает возможность значительно ослабить мешающее действие паразитных токов в антенне, возникающих в ней под влиянием атмосферных разрядов.

Как на пример такого сложного приемника укажу на схему, предложенную А. Эзау и А. Готе¹⁾ (рис. 1): *a* и *b* представляют собою обычный рамочный приемник со сложной схемой. Принятый им извне сигнал („основное колебание“) передается через промежуточный контур *c* трехкратному усилителю высокой частоты *d*; в том же передаточном контуре возбуждаются гетеродином *e* колебания, частота которых разнится на 10000 периодов в сек. от частоты основного тока. Полученные биения 10 000 раз в сек. (что соответствует волне около 30 000 м) усиливаются и принимаются фильтрующим контуром *f*, настроенным на волну 30 000 м; последний весьма слабо связан (в среднем 0,2%) с контуром *g*, в котором индуцируется гетеродином *h* колебания с частотой 900 или 11 000, дающие, следовательно, биение акустической частоты 1000 раз в сек., которые усиливаются трехкратным

¹⁾ В. Т. З. 44, р. 239. 1923.

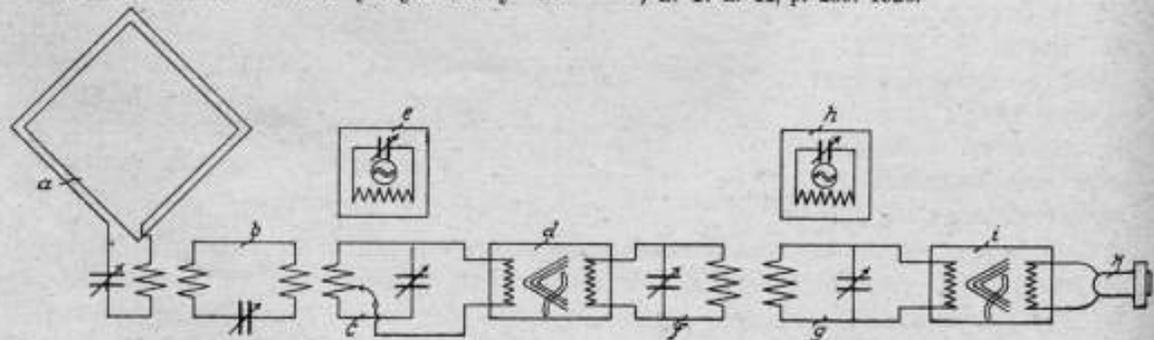


Рис. 1.

усилителем λ и принимаются на телефон или на пишущий аппарат. Рис. 2 иллюстрирует получаемый результат (на оси абсцисс отложена длина волн и их процентные соотношения, а на оси ординат — сила приема). Кривая a соответствует настройке при обыкновенном четырехкратном усилении, кривая b — настройке с реактивным усилителем высокой частоты и, наконец, c — остроте настройки при применении вышеуказанной схемы с промежуточной частотой и фильтрующими контурами. Из диаграммы видно, что при изменении длины волны менее, чем на $0,5\%$, звук в телефоне уже пропадает. Разумеется, такой приемник применяется только в исключительных случаях, но уже самый факт его существования заставляет метролога считать с необходимостью применения методов, позволяющих градуировать волномеры с точностью до десятых, а может быть даже сотых долей процента.

Не вдаваясь в подробное изложение методов получения абсолютной шкалы волн, упомяну только, что они (за исключением очень коротких волн) основаны на измерении числа периодов колебаний и переводе последних в длины волн, пользуясь известной зависимостью между указанными величинами и скоростью распространения света.

Здесь мы наталкиваемся на досадное, с точки зрения точной метрологии, обстоятельство¹⁾. Дело в том, что указанными выше способами число периодов может быть определено с точностью, по крайней мере, до $1:1000$, тогда как скорость света определена лишь до $1:200$ и, следовательно, абсолютная величина длины волны может быть вычислена с точностью, не превышающей $0,5\%$. По этому было бы целесообразнее определять электромагнитные колебания в периодах или килопериодах, как это делает, например, американское Bureau of Standards и тем внести определенность. Но так как на практике уже достаточно прочно приви-

лись волны, выраженные в метрах, то приходится в большинстве случаев идти на компромисс и условно принимать скорость света равной $3 \cdot 10^8$ м/сек и получать таким образом условную или практическую длину волны.

Одной из очередных работ лаборатории токов большой частоты Главной Палаты является создание точной шкалы периодов. Работы в этом направлении уже заканчиваются и в непродолжительном времени Главная Палата будет в состоянии как мерить с большой точностью излучаемые радиостанциями волны, так

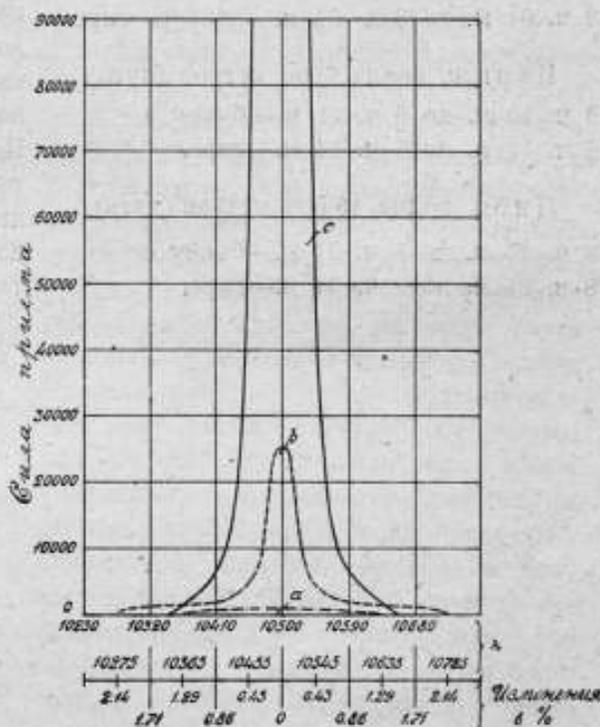


Рис. 2.

и поверять волномеры. Методы измерения и описание абсолютного волномера будут подробно изложены на страницах Временника автором настоящей заметки.

Наличием абсолютной шкалы волн, однако, еще не вполне исчерпывается вопрос о поверке волномеров. Во многих случаях, в особенности имея в виду современное развитие радиолюбительства, является желательным иметь возможность удобной и быстрой поверки волномера, хотя бы с небольшой точностью и в небольшом числе точек.

Западно-европейские и американские научные учреждения пошли навстречу такому желанию, организовав подачу

¹⁾ A. Turpain. La vitesse des oscillations électriques et la mesure des longueurs d'onde. Rev. Gén. de l'Electr. 12, p. 511. 1922.

так называемых „калиброванных волн“. Ряд радиостанций в определенное время по очереди излучает определенные волны в течение времени, достаточного для настройки и поверки волномера.

В виде иллюстрации приводим ниже схему подачи слышимых у нас радиостанций Париж и Лион:

1-го и 15-го числа каждого месяца передают:

Париж, волна 5000 метров, незатухающая (дуга).

8 ч. 00 м. до 8 ч. 01 м.—букву *a*

8 ч. 01 м. до 8 ч. 04 м.—непрер. тире.

Париж, волна 7000 метров (дуга).

8 ч. 10 м. до 8 ч. 11 м.—букву *b*

8 ч. 11 м. до 8 ч. 14 м.—тире.

Лион, волна 10 000 метров (дуга).

8 ч. 20 м. до 8 ч. 21 м.—букву *c*

8 ч. 21 м. до 8 ч. 24 м.—тире.

Лион, волна 15 000 метров (дуга).

8 ч. 30 м. до 8 ч. 31 м.—букву *d*

8 ч. 31 м. до 8 ч. 34 м.—тире.

В промежутке от 8.45 до 9.00 Лион, на волне 15 000 м дает точные значения всех волн. Время указано среднее солнечное 2-го пояса.

В недалеком будущем Главная Палата проектирует также посылку калиброванных волн при помощи лампового передатчика небольшой мощности. Опыт американского Bureau of Standards и национальной Физической Лаборатории в Лондоне показал, что при этом способе передачи возможно постоянство длины волны в пределах 0,1—0,2 процента. Так как определение длины незатухающей волны при помощи волномера Главной Палаты возможно почти с абсолютной точностью, то весьма возможно, что калиброванные волны Палаты будут подаваться с точностью до нескольких десятых долей процента.

ПОЛОЖЕНИЕ ВОПРОСА О СВЕТОВЫХ ЕДИНИЦАХ.

С. О. Майзель.

1. Фотометрия, как отдельная отрасль метрологии, существует со второй половины 18-го века, со времени трудов Ламберта (1728—1777) и Буге (1698—1758). Задачи ее были первоначально весьма узкие — сравнение сил света источников, — точность в измерениях очень невелика. Только в 19-м и, особенно, в 20-м веках усовершенствование источников света, широкое развитие промышленности и техники, изменившиеся условия жизни, потребовавшие применения искусственного освещения в громадном по сравнению с прежними веками размере, — поставили на очередь ряд новых задач перед фотометрией и потребовали от нее возможного увеличения точности измерений.

Эта точность все же и в настоящее время стоит далеко позади точности остальных физических измерений, и пока нельзя еще предвидеть возможности довести ее до тех пределов, при которых фотометрия будет стоять на одном уровне с такими отделами метрологии, как измерение длины, веса, электрические измерения и пр.

Отсталость фотометрии обусловлена двумя основными причинами: фотометрические эталоны далеко не обладают теми постоянством и возможностью воспроизведения, какие должны быть первым и основным признаком всякого действительно пригодного эталона; особенности самого метода фотометрирования налагают неизбежное пока ограничение на точность получаемого результата, даже если бы эталоны и удовлетворяли всем могущим им быть предъявленным требованиям.

До сравнительно недавнего времени эталоны силы света представляли собою пламенные источники света, частью с открытым пламенем. Свойства горючего, условия горения, содержание влажности и углекислого газа в окружающем воздухе, особенности самой горелки, все это оказывало сложное и трудно со сколько-нибудь удовлетворительной точностью учитываемое влияние на силу света эталона. Один только эталон — единица Виолля, казалось, давал основание ожидать постоянства и точной воспроизводимости, так как основывался в своем излучении на постоянстве температуры застывания большого количества расплавленной платины. Однако, и этот эталон оказался после тщательного исследования неудовлетворительным: его сила света подвержена заметным колебаниям, причина которых по настоящее время недостаточно выяснена.

В настоящее время все эти старые эталоны силы света оставлены, и международным соглашением принята условная, являющаяся производной от пентанового эталона и единицы Виолля, единица силы света — „международная свеча“, — осуществляемая и поддерживаемая при помощи электрических ламп накаливания особой конструкции. Эти лампы накаливания, хранящиеся в национальных метрологических институтах Франции, Англии и Соединенных Штатов, и являются эталонами силы света. Особенностью световых эталонов является то, что они не могут считаться постоянными: при горении нити нормальных ламп постепенно распыляются, стеклянные баллоны, в которых эти нити заклю-

ченны, покрываются налетом продукта распыления, и по обеим причинам сила света лампы постепенно изменяется. Поэтому всякий эталон, прослуживший приблизительно 50—100 часов (считая число часов фактического накала нитей и не считая часы предварительной подготовки их), должен быть выброшен и заменен новым. Вследствие этого эталоном данной лаборатории является не одна лампа, а совокупность большой группы их, не остающаяся постоянной, а непрерывно пополняемая свежими лампами и подвергающаяся периодическим сравнениям с другими группами ламп, хранящихся в других лабораториях.

Кроме того, даваемая нормальной лампой сила света в сильной степени зависит от поглощаемой ею электрической мощности. Поэтому воспроизводимость эталона зависит от воспроизводимости и точности измерения питающих лампу силы тока и разности потенциалов (сопротивление ее в нагретом состоянии может при известных условиях считаться постоянным). Притом относительная ошибка в силе света, вследствие не совсем точного воспроизведения необходимой силы тока, приблизительно в 4—5 раз превышает допущенную при установлении силы тока.

Если считать, что при измерении силы тока трудно превзойти точность в $0,01\%$ (особенно принимая во внимание условия, при которых производится измерение), легко видеть, что нельзя в эталоне силы света добиться большей точности, чем приблизительно $0,05\%$. В действительности и такая точность недостижима, и приходится считать, что по настоящее время эталон силы света не может быть получен с большей точностью, чем в $0,08—0,10\%$.

По сравнению с другими областями метрологии такая точность не может быть признана достаточной.

2. Однако, при современном положении фотометрии, вряд ли имело бы смысл особенно упорно стремиться к дальнейшему увеличению точности эталонов. Как уже было сказано выше, точность самих фотометрических измерений не оправдывает такого стремления.

Для сравнения двух источников света построено чрезвычайно большое число типов фотометров, из которых некоторые обладают высокой степенью совершенства и позволили сильно повысить точность измерений. Но самый принцип измерения не позволяет повышать эту точность дальше известных пределов потому, что приборы служат лишь вспомогательными инструментами для глаза, на котором, в конечном счете, основано все измерение. Действительно, все фотометры служат лишь для того, чтобы получить два смежных (по месту или времени) поля, освещенных двумя сравниваемыми источниками.

В меру совершенства фотометра облегчается или затрудняется глазу его работа сравнения, вносятся или устраняются систематические или случайные ошибки. Но самое сравнение производится все же глазом, и нет пока ни одного приспособления, которое могло бы удовлетворительно заменить глаз и оказаться притом чувствительнее его.

Точность же измерения глазом зависит только от чувствительности его к сложному контрасту двух освещенных полей, а эта чувствительность в лучшем случае немногим выше 2% . Некоторые обстоятельства, на которых было бы здесь слишком долго останавливаться, дают возможность в действительности превзойти эту грубую точность и довести ее до приблизительно $0,5—0,4\%$, а в особо исключительных случаях даже до $0,2\%$. Этот крайний предел все же еще очень далек от совершенства других метрологических методов.

При этом следует отметить, что указанная точность достижима только при условии полной одинаковости цветов излучений обоих источников света. При даже незначительной разнице цветов точность фотометрирования заметно падает и достигает часто $1—2\%$ и даже хуже при большой разнице в цветах.

Если глаз оказывается инструментом со столь малой контрастной чувствительностью, то, казалось бы, все усилия должны быть направлены к тому, чтобы заменить его каким-либо чувствительным к свету приспособлением, воспри-

имчивость которого к разнице в яркости двух полей была бы больше.

Такое стремление неоднократно и проявлялось, но не могло привести пока ни к какому удовлетворительному решению задачи по следующей причине.

Источник света излучает лучистую энергию; но наравне с той частью этой энергии, которая производит световое ощущение, излучается и невидимая глазу энергия. Мало того, ощущаемая в виде света лучистая энергия имеет для разных длин волн весьма различную ценность в смысле производства светового ощущения. Если бы шел вопрос о сравнении двух источников по излучаемой ими энергии, то именно глаз был бы непригодным инструментом и должен был бы быть заменен болометром, терпарой и т. д. Но при определении силы света источника нас интересует только сила света, а не лучистая энергия во всем спектре или в какой-либо его части, а потому приборы, воспринимающие лучистую энергию иначе, чем глаз, непригодны для фотометрии.

Этот психо-физиологический элемент налагает особый отпечаток на фотометрию и выделяет ее из среды других чисто физических измерений.

Чтобы иметь возможность установить фотометрию на физическом основании, исключить глаз из измерения, недостаточно заменить его каким-либо светочувствительным приспособлением, а надо подобрать это приспособление так, чтобы его реакция на свет была совершенно тождественна или, по крайней мере, пропорциональна реакции глаза. Для этого надо предварительно изучить глаз, как воспринимающий световое раздражение орган, определить так называемую «кривую видимости» излучений, т. е. относительное влияние колебаний различной частоты при одинаковой энергии на получаемое ощущение. При этом заранее можно предвидеть (и это подтверждается опытом), что кривые видимости для разных глаз несколько различны. Поэтому надо исследовать большое число глаз и на основании полученных кривых видимости выработать кривую для «среднего нормального глаза».

Такая работа проделана в обширном размере американской школой фотометристов: Айвсом, Ноттингем, Коблентцем, Кингсбери, Гайдом и др.

Мало того, глаз представляет ту добавочную сложность, что в нем имеется два воспринимающих аппарата: колбочки и палочки. Первые служат для восприятия больших яркостей (дневное зрение), вторые — для малых яркостей (сумеречное зрение). Кривые видимости в обоих случаях сильно отличаются друг от друга. При промежуточных яркостях видимых полей оба аппарата могут действовать одновременно и в различных пропорциях, а потому в этих случаях кривая видимости может оказаться некоторой промежуточной между обоими основными типами.

Все эти усложнения крайне затрудняют полное решение задачи о замене глаза физическим приспособлением, и потому по настоящее время еще не выработано удовлетворительного типа физического фотометра, а, следовательно, точность измерений не могла быть повышена дальше указанных выше пределов.

3. Сила света была первой, и в течение долгого времени единственной, световой величиной, с которой имела дело фотометрия в своих измерениях. Лишь впоследствии начали прибавляться другие величины и из них раньше всех освещенность, характеризующая получаемый некоторой поверхностью от источника свет на каждую единицу площади ее.

Но историческая последовательность возникновения методов измерения вовсе не должна быть наиболее логичной и обоснованной последовательностью. Самое понятие силы света явилось из идеи об источнике — геометрической точке или, по крайней мере, достаточно близком по своей малости эквиваленте точки. Оно не приложимо к большим излучающим, отражающим или пропускающим сквозь себя свет поверхностям. Естественно было искать другую типичную величину, характеризующую излучение света с любого тела независимо от его размеров, и такая величина была найдена в виде светового

потока, стоящего в прямой связи с общей излучаемой светящимся телом в единицу времени лучистой энергией.

Наконец, в дополнение к указанной выше величине освещенности оказалось необходимым ввести еще величину — яркость, характеризующую излучение света любым телом на единицу его поверхности.

Всего в результате получилось четыре основных световых величины.

Выработка всех этих величин, определение их и выбор единиц оказались делом далеко не простым и потребовали много времени и труда. Не лишним будет в очень кратких чертах привести историю последовательных попыток создать порядок и ясность в световых величинах и единицах.

В 1900 году была созвана Международная фотометрическая комиссия в Цюрихе. Она занялась, главным образом исследованием всех имевшихся тогда в разных странах типов эталонов силы света, сравнением их между собой и выбором тех из них, которые могли считаться наиболее надежными.

В 1910 г. Американским Обществом инженеров-осветителей была выбрана особая комиссия, которой было поручено выработать по возможности точные определения всех важных световых величин. В конце того же года комиссия представила первую пробную сводку таких определений. Однако, этим ее работа далеко не окончилась. Через 2 года ею снова была представлена переработанная сводка определений. Затем периодически появлялись все новые и новые сводки, и работу до сих пор еще нельзя считать вполне законченной. Последние по времени сводки появились в конце 1918 г. и в начале 1923 г.

Одновременно с этими вопросами световой терминологии занимались Международные электро-технические конгрессы. В 1913 г. на смену Международной фотометрической комиссии была создана Международная осветительная комиссия, одной из главных задач которой была выработка системы световых единиц.

Параллельно с этим тем же вопросом занимались Английское и Германское

осветительные общества, Американское оптическое общество и ряд отдельных исследователей, особенно во Франции — Блондель.

Наконец, в 1921 г. Международная осветительная комиссия приняла в окончательной редакции первые 6 пунктов определений основных световых единиц, при чем пока определены только световой поток, сила света и освещенность, а также их единицы.

В России вопросы фотометрии долгое время вызывали мало интереса. Впервые вопрос о световой номенклатуре был поднят в 1918 году в основанной VI (электротехническим) отделом Р. Т. О. постоянной комиссии по освещению. Однако, в виду революционных событий эта комиссия должна была прекратить свою деятельность. Снова вопрос этот возник в 1922 году в комиссии по осветительной технике при Ц. Э. С., которая и выработала проект световой номенклатуры (напечатан в журнале «Электричество» за 1923 г., № 4). Этот проект подвергся подробному обсуждению в комиссии, выбранной Государственным Оптическим Институтом, при чем комиссия, со своей стороны, внесла свое предложение об определении основных понятий и величин в фотометрии.

В дальнейшем вопрос об установлении световых единиц и основной номенклатуры перешел в Постоянный Оптический Комитет, объединяющий деятельность, в области оптики, Главной Палаты мер и весов и Государственного Оптического Института. Еще в 1923 г. П. О. И. сделал попытку приобрести за границей (в Германии) известное число достоверных эталонов силы света. Эта попытка не дала ожидавшегося результата. В 1924 г. она была повторена, причем лампы были привезены из Англии в количестве 12 штук. Эти лампы были промерены в Фотометрической лаборатории Государственного Оптического Института и приняты за первый русский эталон силы света. В настоящее время прибыли дальнейшие партии английских и др. эталонных ламп и предпринимаются шаги к обеспечению фотометрических лабораторий Главной Палаты и Государствен-

вого Оптического Института достаточным количеством эталонных ламп европейских и американских.

В то же время П. О. К. принял ряд постановлений и провел их через Главную Палату и соответственные правительственные инстанции о легальных единицах для световых величин. В основании принятой системы основных единиц были положены постановления Международной осветительной комиссии, за единицу силы света принята «международная свеча». В № 113 (950) Торгово-Промышленной Газеты от 20-го мая 1925 г. напечатаны «Правила о световых измерениях», утвержденные ВСНХ СССР. Таким образом единицы световых величин и их номенклатура получили в СССР официальное признание.

4. Из предыдущего краткого изложения истории вопроса видно, что им занималось много крупных учреждений в разных странах, занималось им долго и упорно, и все же нельзя сказать, чтобы задача была вполне решена. Естественно, возникает вопрос, почему на установление определений основных световых величин требуется так много времени и коллективного труда?

Казалось бы, нет особых затруднений в определении столь несложных величин, как те, которые играют роль в фотометрии.

В действительности, вопрос далеко не так прост, каким он с первого взгляда кажется и именно по указанной уже выше причине, что в фотометрических измерениях участвует психо-физиологический элемент, от которого пока освободиться не удастся. Поэтому трудно добиться в определениях световых величин той логичности и ясности, которая характеризует обычные физические определения.

Если обратиться к самой основной величине — световому потоку, — характеризующему световую энергию излучения, то вот как она определяется в принятых Международной осветительной комиссией положениях:

«Световой поток есть излучаемая источником света в единицу времени лучистая энергия, оцениваемая по

производимому ею световому ощущению».

Здесь вполне ясно выступает психо-физиологический фактор, сказывающийся в том, что лучистая энергия оценивается по производимому ею световому ощущению. Однако, этот фактор остается совершенно неопределенным, не указывается, как можно определить световое ощущение при данной лучистой энергии и что означает слово «оценивать» при световом ощущении. Разумеется, ни для одной чисто физической величины такое определение не было бы сочтено достаточным.

На приведенной фразе определение светового потока, даваемое Международной осветительной комиссией, не кончается. За нею следует другая, более длинная, пытающаяся указать на то, что, хотя в понятие светового потока входит психо-физиологический фактор, его все же можно рассматривать, как физическую величину. Но, так как указанный фактор точно не определен, то и вся добавочная фраза выходит тяжелой, неясной и малопонятной.

Эту трудность в определении светового потока можно преодолеть, если установить точно понятие о среднем нормальном глазе, о его кривой видимости и о так называемом «механическом эквиваленте света», характеризующем то количество лучистой энергии (в единицу времени), соответствующей максимуму видимости длины волны, которое дает единичный световой поток — один люмен.

Но, как было упомянуто выше, средний нормальный глаз не может быть характеризуем, как нечто постоянное во всех случаях, средняя кривая видимости меняется вместе с яркостью поля зрения и известна с более или менее достаточной точностью (до 2 — 3%) лишь для дневного зрения. Поэтому и световой поток может быть в настоящее время определен удовлетворительно только для этого случая, а в остальных приходится волею-неволею довольствоваться той неопределенной фразой, которая положена в основание определений Международной осветительной комиссией.

Пока не будет выяснен вопрос о среднем нормальном глазе для всех случаев, нельзя ввести и рациональной, связанной с системой CGS, единицы светового потока. Та единица — люмен, — которая существует сейчас, является следствием произвольно принятой единицы силы света — международной свечи. Само понятие силы света в данной Международной осветительной комиссии схеме является производным от светового потока понятием: сила света (точечного источника) есть излучаемый внутри единичного телесного угла световой поток. Между тем, измерять световой поток в люменах можно только тогда, когда есть уже осуществленный эталон единицы силы света.

В этом опять сказывается неполная удовлетворительность принятой системы определений и единиц.

Остальные две из основных световых величин сводятся к первым. Освещенность определяется, как световой поток, падающий нормально на единицу площади освещаемой поверхности.

Его единица — люкс — равна люмену на 1 кв. метр.

Яркость (величина исключительно важная для светового ощущения) определяется двояко: как сила света в заданном направлении, приходящаяся на единицу площади источника, или как световой поток, излучаемый единицей площади (для самосветящихся и совершенно рассеивающих поверхностей).

Соответственно этому имеются две единицы яркости: свеча на кв. см и ламберт, равный люмену на кв. см. Международной Осветительной Комиссией принята только первая из этих двух единиц. Вторая — введена в обращение американцами и только в Америке пользуется применением.

Ясно, что люмен, люкс и ламберт (или $\frac{\text{св.}}{\text{см}^2}$) страдают от той же неполной точности, которая связана с единицей силы света — международной свечей и вообще с фотометрическими измерениями.

5. Вопрос о световых величинах и единицах, очевидно, не может считаться

завершенным. Предстоит большая работа по выработке точных оснований для общего определения понятия светового потока, по усовершенствованию методов фотометрии и созданию действительно пригодных физических фотометров, по установлению точных эталонов и, быть может, по разработке связанных с системой CGS единиц.

Эта работа представляет много трудностей и потребует больших усилий во всех областях, связанных с фотометрией и с физиологией зрения, но она необходима для того, чтобы поставить фотометрию по возможности на один уровень по точности с другими отделами метрологии.

В СССР мы только еще вступаем впервые на путь серьезной работы в области фотометрии. Те фотометрические лаборатории, какие существовали у нас до недавнего времени, были приспособлены скорее для учебных целей, чем для точной исследовательской работы. Только с оборудованием фотометрических лабораторий Главной Палаты мер и весов и Государственного Оптического Института представилась впервые возможность планомерной научной работы в области фотометрии.

Первые шаги в этой области уже сделаны: имеется групповой эталон силы света, в недалеком будущем, благодаря сотрудничеству обеих связанных лабораторий (Главной Палаты и Оптического Института) законная величина единицы силы света будет окончательно и твердо установлена. По постановлению Постоянного Оптического Комитета эталон силы света будет храниться одновременно в обоих названных лабораториях, что даст возможность взаимного контроля их в надежного поддержания величины международной свечи неизменной для СССР. Периодические, более редкие, сверки с государственными лабораториями Западной Европы и Америки позволят осуществить общность нашей единицы с международно принятой. Имеется вполне определенная надежда, что не слишком долго мы будем зависимы от Европы в смысле получения самих эталонных ламп: опыты изготовления такого рода ламп уже про-

изводятся на одном из ламповых заводов и, судя по первым изготовленным лампам, можно рассчитывать, что задача построения эталонных ламп не окажется для нас неразрешимой.

Установлением группового эталона силы света еще далеко не исчерпываются стоящие перед государственными фотометрическими лабораториями задачи. Неприятные свойства эталона, осуществляемого при помощи ламп накаливания, заставляют искать возможности построить более совершенный эталон силы света. Повидимому, таким эталоном будет так называемое «черное тело». Построение его необходимо для фотометрии точностью представляет очень большие трудности. Сделанные в этом направлении в Германии попытки еще не привели к удовлетворительным результатам. Высказанное в 1925 г. Айвсом предложение построить черное тело из платиновой

жести и пользоваться им, как эталоном, в момент плавления платины, вряд ли еще решает вопрос.

Быть может в этом построении нового, несравненно более совершенного, эталона силы света примут участие наши фотометрические лаборатории. Задача стоит того, чтобы над ней серьезно поработать.

И другие задачи стоят еще для нас на очереди: исследование кривой видимости, определение «механического эквивалента света», увеличение точности фотометрирования и т. д., не говоря уже о ряде более простых практических задач, которых, при нашей отсталости в области фотометрии, наберется не малое количество. Работа еще только начинается, и надо надеяться, что с течением времени СССР займет подобающее место в ряду других стран, где фотометрия достигла уже больших успехов.

РИМСКИЕ НЕРАВНОПЛЕЧНЫЕ ВЕСЫ (БЕЗМЭНЫ) В ГОСУДАРСТВЕННОМ ЭРМИТАЖЕ.

Н. П. Тарасов.

Количество древних весов, обычно открываемых при раскопках и находя-

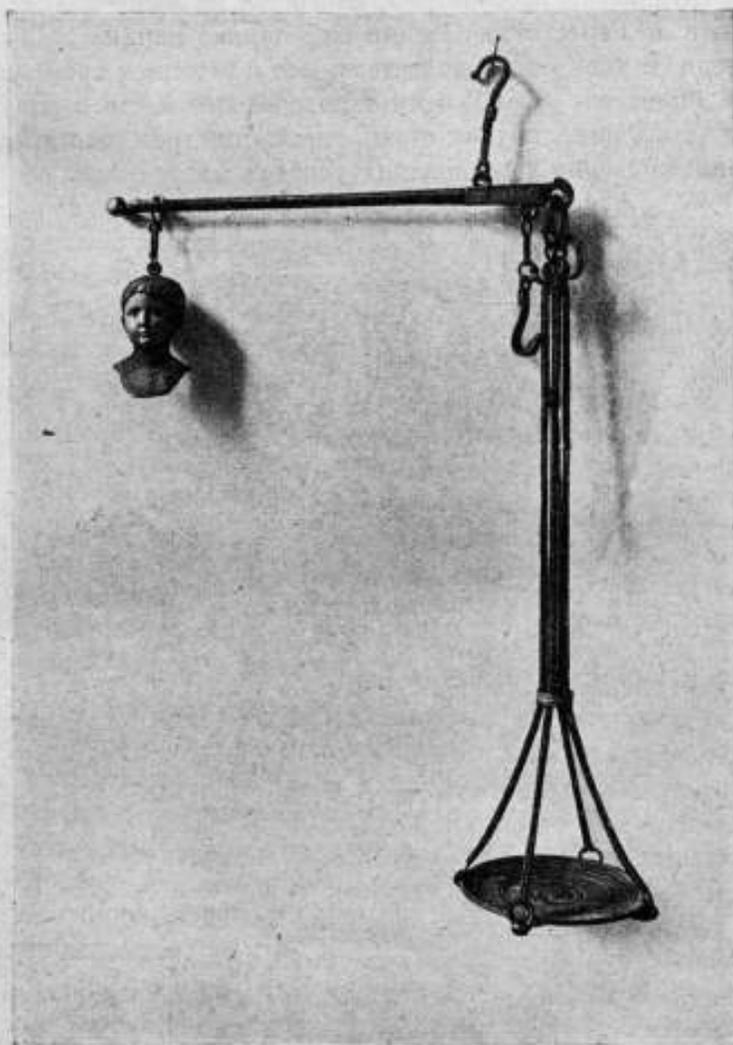


Рис. 1.

щихся в музеях, довольно велико. Особенно богат ими Неаполитанский музей, имеющий прекрасные экземпляры древних римских весов, как по сохран-

ности, так и по художественности работы. Но обычно случается, что редкие весы доходят до нас не только сохранившимися, но и не потерявшими своих частей. Чаще всего отсутствуют подвесные чашки и передвижные гири, особенно у римских весов безменного типа, реже всего — крючки. Поэтому весы, находящиеся в Государственном Эрмитаже СССР, в Ленинграде, открытые в 1846 г. при раскопках в Помпее, в присутствии Николая I, представляют для нас очень большой интерес, именно потому, что весы сохранили свои части, очень мало пострадали под пеплом Везувия и обращают на себя внимание тонкостью и художественностью своей работы. (рис. 1 и 3).

Весы эти — безменного (римского) типа. Короткий конец рычага весов оканчивается кольцом, на которое подвешивается чашка для груза. Два других кольца на коромысле служат для подвески весов, при чем, в зависимости от того, за какое из колец весы подвешены, получается возможность взвешивать большие или меньшие грузы. По другому плечу (длинному) рычага переме-

щается гиря для приведения весов в состояние равновесия и определения веса груза по отчету на шкале.

Материал, из которого сделаны весы, — бронза. Весы, как упомянуто, имеют две точки подвеса. Сечение коромысла — ром-

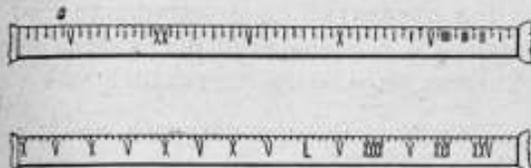


Рис. 2.

бическое, с острыми гранями, обращенными вверх и вниз. По покатой площадке коромысла сверху и снизу имеются две шкалы, одна из которых служит для взвешивания при подвеске весов за одно кольцо, а другая — за другое. Против каждого деления шкалы сверху имеется зарубочка.

Шкала имеет в длину 330 мм. Как видно из рис. 2, первая шкала, служащая весам при подвеске их за кольцо ближайшее к шкале разделена на 28 равных частей, обозначенных римскими цифрами с I по V полностью, потом кратными V; промежутки между последними обозначены единицами. Половины делений намечены точками и буквой S (Semis, т.е. половина).

Вторая шкала, служащая весам при подвеске их за другое кольцо и имеющая точно такую же длину, разделена на 14 частей, обозначенных римскими цифрами начиная от XXV, причем каждая часть подразделяется еще на пять меньших частей, помеченных черточками. Как видно, вторая шкала служит продолжением первой, хотя и не совсем точно: с 21 по 28 деление можно одинаково взвешивать на обеих шкалах.

Конец длинного плеча коромысла оканчивается шариком. На другом конце коромысла, в кольцо помещается крючек, соединяющийся посредством второго якоробразного крючка с цепями подвешенной чашки. Внутренние части колец, а также входящих в них крючков, имеют острые грани, так что соприкосновение происходит на остриях.

Крючки, служащие для подвешивания весов, соединены с коромыслом посредством короткой цепи, оканчивающейся кольцом.

Коромысло весов имеет общую длину 450 мм. Расстояние от первого, ближайшего к шкале кольца до 0 деления первой шкалы — 15 мм; от этого кольца до точки подвески чашки — 75 мм. Расстояние от 0 деления второй шкалы до второго кольца — 60 мм, а от второго кольца до точки подвески чашки — 30 мм.

Из этого видно, что длины плеч рычагов от точки подвески чашки до точек опоры относятся между собой, как 75:30, т.е. как 2,5:1. Этому вполне соответствуют деления, нанесенные на шкалах, т.е. когда каждое деление первой шкалы отвечает весу одной весовой единицы, соответствующее ему расстояние на второй шкале отвечает весу 2,5 единиц.

Передвижная гиря, служащая контргрузом и движущаяся по шкале



Рис. 3.

коромысла, представляет бронзовый бюст мальчика в наплечниках (рис. 3). Бюст расчеканен весьма тщательно. Основываясь на работе этой гири, хранитель Отдела древностей Эрмитажа О. Ф. Вальд-

гауер, любезно предоставивший весы для исследования, относит происхождение весов ко времени правления Римской империей Октавиана Августа (с 30 г. до нашей эры по 14 г. нашей эры). Есть предположение, что это портрет одного из принцев дома Августа. Размер головы — 58 мм, высота бюста — 112 мм.

Гиря снизу залита свинцом местами сильно покрытым окисью.

Гиря имеет на головке петлю и посредством короткой цепи соединяется с хомутиком передвигающимся по коромыслу. Хомутик имеет снизу острую грань, которая при работе весов становится в зарубки над делениями шкал коромысла. Длина подвесной цепи с хомутиком — 71 мм.

Чашка, служащая для взвешиваемого груза, подвешена на 4-х четырехгранных плетеных цепях. Длина цепей 600 мм.

В верхней своей части цепи соединены попарно кольцами, зацепленными за якоробразный крючок, который, в свою очередь, подвешен на крючок, входящий в кольцо коромысла. По цепям движется стяжка, имеющая вид плоского рифленого кружка с отверстиями для пропуска цепей.

Чашка круглой формы, массивная, несколько углубленная, на ней виден ряд концентрических кругов, расходящихся от центра. Она соединена с цепями посредством колец, предетых в цинковые лапки, припаянные снизу чашки свинцом. Диаметр чашки 177 мм.

Общий вес весов 3510 г.

Благодаря тому, что весы сохранили все свои части и находятся в хорошем состоянии, явилась возможность определить цену делений шкал при помощи нагрузки их гирями.

Весы были подвешены на стойку за первый ближайший к шкале крючок и передвижная гиря поставлена на 0 делений шкалы, при этом весы равновесия не сохранили: часть с передвижной гирей значительно перетягивала книзу. Для получения равновесия к крючкам был подвешен полотняный мешечек с грузом весом 181 г.

В состоянии равновесия порожние весы хорошо чувствуют 9 г.

При перестановке передвижной гири на I деление, весы пришли в равновесие при нагрузке чашки 324 г. При этом грузе весы едва заметно чувствуют 9 г.

При последующих испытаниях весы приходили в равновесие (на сколько это возможно определить на глаз):

для деления II—	при нагрузке в	631 г
" " III—	" " "	956 "
" " IV—	" " "	1280 "

Чувствительность весов колебалась от 13 г для II и III делений, до 15 г для IV деления.

При XXV делении весы уравновешиваются 8100 г, при чем весы заметно чувствуют 51 г.

По достижении равновесия на XXV делении первой шкалы груз был снят, весы переставлены на опору второго, более удаленного от шкалы крючка, при чем чашка автоматически перевернулась в кольцевом вырезе коромысла. После этого передвижная гиря была поставлена на XXV деление второй шкалы, ставшей теперь в верхнее положение.

По установке того же груза 8100 г на место, весы снова пришли в равновесие, хотя чувствительность их несколько уменьшилась.

От дальнейшего испытания весов пришлось отказаться из боязни поломать крючки и цепи, но и полученных результатов достаточно, чтобы сделать заключение о том, что цену деления коромысла, несомненно, составляла римская весовая единица *libra* (фунт). Весы были предназначены для взвешивания груза от половины *libra* до 90 *libra*.

Величина римского фунта *libra* определялась неоднократно. Sagnazzi, путем взвешивания гирь, относящихся к республиканскому периоду Римской истории, нашел, что вес *libra* равен 325,8 г. Letronne и Boskh, путем определения среднего веса золотых монет эпохи республики и империи Константина, пришли к одному и тому же результату: вес *libra* равен 327,45 г.

Указанное выше испытание весов нагрузкой дает для веса *libra* число: 324 г.

Разница в полученных величинах крючков, служащих опорой. Опорных для веса *libra* вполне объяснима как возможной потерей веса исследуемых предметов, так и изменением самой весовой единицы.

Libra нового времени из Пьемонта, хранящаяся в музее Главной Палаты мер и весов, имеет вес 368,87 г.

Кроме этих весов в Эрмитаже имеются еще весы такого же безменного типа, найденные в Сицилии близ Катаньи, в местности, считающейся родиной всех римских безменных весов, которые первоначально назывались *Katana*. Они отличаются от предыдущих только своей величиной, количеством крючков, служащих для подвешивания, и иным устройством для подвешивания груза (рис. 4). Материал весов тот же, т. е. бронза. Величина их очень не велика, вся длина коромысла—172 мм, вес их—50,7 г.

Для подвешивания груза весы имеют крючки на цепочках, прикрепленных посредством проволоки к проволочному же комутику, надетому на зарубку в конце коромысла, по которому он свободно вертится, что необходимо при перемене

крючков, служащих опорой. Опорных крючков три, каждому из которых соответствует своя шкала.

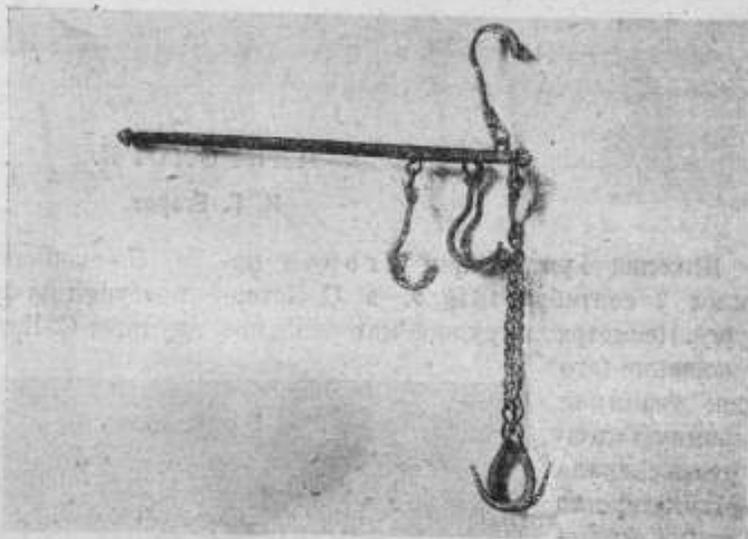


Рис. 4.

Передвижная гиря отсутствует, вследствие чего поверить весы нагрузкой их гирями не представилось возможным. Единицу веса, по всей вероятности, составляет римская унция, (27,3 г). На первой шкале, соответствующей первому опорному ближайшему к ней крючку, возможно взвешивать до $2\frac{1}{12}$ унции. Вторая шкала начинается цифрой II и кончается VIII и имеет подразделения на половины: S (*Semis*). Третья шкала продолжает вес еще дальше с VIII до XXIV и подразделений не имеет.

НЕКРОЛОГИ.

Н. Г. Егоров.

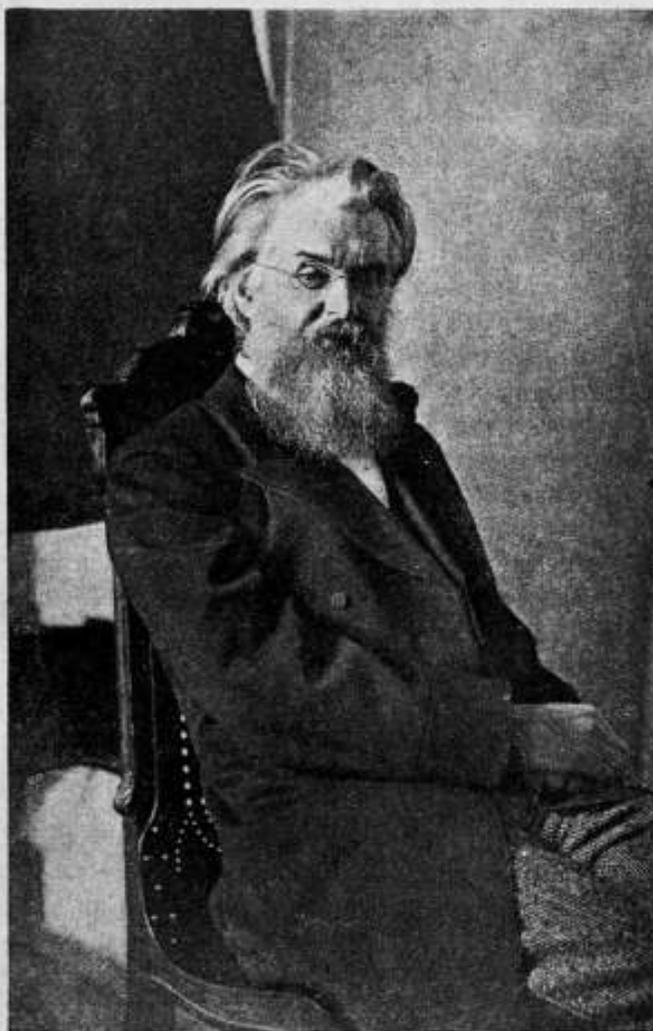
Николай Григорьевич Егоров родился 7 сентября 1849 г. в С.-Петербурге. Несмотря на трудное материальное положение (его отец занимал скромную должность сначала в Министерстве Путей Сообщения, потом в Городской Думе), родители Н. Г. Егорова сумели дать детям хорошее воспитание. Уже с 12 лет, будучи еще во втором классе 2-ой гимназии, Н. Г. Егоров стал давать уроки, помогая, таким образом, семье.

В старших классах гимназии ясно сказались влечение Н. Г. Егорова к физике; биографии знаменитых ученых сделались его любимым чтением. С этого времени и на всю жизнь в нем возникло особое влечение к работам и личности Фарадея. Биография Фарадея с вделанным в переплет фотографическим его портретом постоянно была при Н. Г. Егорове даже и в путешествиях.

По окончании гимназии Н. Г. Егоров поступил на физико-математический факультет С.-Петербургского Университета.

Назначенная ему Городской Думой стипендия дала ему возможность не слишком отвлекаться материальными заботами от любимой науки, которой он предан с увлечением вместе с ближайшими товарищами, из которых он особенно близок был с И. И. Боргманом, Н. А. Гезехусом и В. В. Лермантовым.

Еще в Университете Н. Г. Егоров вместе с И. И. Боргманом сделал свою первую работу: «О нагревании при намагничении». По окончании Универ-



Н. Г. Егоров.

ситета, в 1870 г., Н. Г. Егоров был оставлен при университете для усовершенствования в экспериментальной части физики. В том же году он напечатал в Известиях С.-Петербургской Академии Наук предвари-

тельное сообщение: «О вращении плоскости поляризации от намагничивания» — предмет, который оставался в центре его внимания во всю его последующую жизнь.

Около этого же времени Н. Г. Егорову удалось впервые побывать в Париже, где он завязал целый ряд знакомств с французскими учеными, многие из которых впоследствии перешли в узлы тесной дружбы.

С 1873 по 1877 г. Н. Г. Егоров занимал должность ассистента по кафедре физики в Технологическом Институте и преподавал в Михайловском Артиллерийском Училище, на женских врачебных курсах и в 3-ей гимназии. В 1877 г. он начал читать в Университете курс спектрального анализа, в качестве приват-доцента. На следующий год он был приглашен в Варшавский Университет, где состоял экстраординарным профессором до 1884 г., читая лекции по физике и физической географии. В 1884 г. Н. Г. Егоров возвратился в Петербург, по приглашению Военно-Медицинской Академии, где он сделался ординарным профессором, и с которою была непрерывно связана его преподавательская деятельность до самого 1900 г., когда он окончательно покинул профессию, перейдя в Главную Палату мер и весов. Кроме профессуры в Академии, Н. Г. Егоров с 1885 г. читал в Петербургском Университете лекции по оптике, а с 1890 г. — курс электричества в Николаевской Инженерной Академии.

За это время особенно широко развернулась деятельность Н. Г. Егорова, как лектора и руководителя молодых ученых и как популяризатора в России новейших завоеваний науки. В 1889 г. Н. Г. Егоров первый познакомил Русское Физико-Химическое Общество и съезд русских естество-испытателей и врачей с опытами Герца. Первая в Петербурге рентгенограмма кисти руки была получена в лаборатории Военно-Медицинской Академии 16 янв. 1896 г., т. е. всего месяц с небольшим спустя после сделанного Рентгеном открытия. В том же году Н. Г. Егоров начал устройство первого рентге-

новского кабинета — в Военно-Клиническом Госпитале.

Знакомясь с новейшими победами науки за границей, Н. Г. Егоров вместе с тем, всегда старался выдвигать и работу русских ученых. Найдя в архивах Военно-Медицинской Академии брошюру 1802 г., содержащую полное описание открытия вольтовой дуги, сделанного профессором Академии Василием Петровым за 11 лет до Дэви, он принял все меры к опубликованию этого факта, позаботился об отыскании и восстановлении могилы Петрова, а затем, по предложению того же Н. Г. Егорова, именем Василия Петрова было названо здание электрической станции Военно-Медицинской Академии, сооруженное по инициативе Н. Г. Егорова, заботившегося о возможно более широком развитии практических применений электричества в России. Эта сторона деятельности Н. Г. Егорова была несколько лет спустя оценена по достоинству Русским Техническим Обществом, которое поднесло ему звание почетного инженер-электрика.

Научные работы Н. Г. Егорова развивались преимущественно в том направлении, которое было предугадано его первой печатной работой — изучению лучистой энергии и ее связи с электрическими и магнитными явлениями. Задача определения коэффициента поглощения ультрафиолетовых лучей различными средами привела его к постройке (по принципу Беккереля) дифференциального электрического фотометра. Исследование этого прибора, произведенное сначала в физической лаборатории Collège de France в Париже, а затем в физическом кабинете С.-Петербургского Университета, послужило темой диссертации, давшей ему степень магистра (1877). Немедленно после этого Н. Г. Егоров начал читать в Университете лекции в качестве приват-доцента, выбрав предметом своего курса спектральный анализ — область, которая с тех пор не переставала привлекать наибольшее его внимание. В этой области он заинтересовался спором о происхождении «теллурических» линий солнечного спектра, внимание к которому было вновь возбуждено работами

Жансена. Сначала в Варшаве, затем в Кронштадте он изучает спектры поглощения паров воды в различных условиях, и вместе с тем доказывает, что спектры аммиака, углекислоты и озона не содержат теллурических линий, происхождение которых некоторыми авторами приписывалось именно этим веществам.

После этих предварительных опытов Н. Г. Егоров приступает к непосредственному изучению спектра поглощения земной атмосферы. После пробных наблюдений в Кронштадте Н. Г. Егоров смог произвести более подробные исследования в Парижской обсерватории осенью 1881 г. и затем, в сотрудничестве с Толлоном — в 1882 г. Источники света, помещавшиеся постепенно на все убывавших расстояниях — сначала на Mont Valerien (10 км), затем на Monsouris (1.600 м), далее в школе Араго (240 м) и, наконец, в саду обсерватории (80 м) дали совершенно ясно все теллурические линии, число и интенсивность которых правильно убывали по мере уменьшения расстояний, при чем следы наиболее интенсивной группы А оставались видимыми еще на расстоянии 80 м.

Эти результаты, подтвержденные еще повторными наблюдениями в Петербурге — между астрофизическим павильоном Университета и физическим кабинетом Военно-Медицинской Академии, позволили Н. Г. Егорову суверенностью приступить уже к лабораторным опытам над спектрами поглощения воздуха и входящих в его состав газов. Опыты с воздухом и кислородом в слоях от 20 до 60 м, при давлениях от 1 до 8 атмосфер, привели к неоспоримому выводу, что группы А, В и α принадлежат кислороду воздуха. Сопоставляя этот результат с наблюдениями Жансена и самого Н. Г. Егорова относительно спектра поглощения водяного пара, Н. Г. Егоров указывает, что остальные теллурические линии принадлежат водяному пару, и таким образом, вопрос об их происхождении вполне разрешен.

Уже первая часть этой работы — наиболее крупная из научных работ Н. Г.

Егорова, доставила ему степень доктора физики (1882 г.). Эти исследования упрочили его имя, как спектроскописта. С того времени Н. Г. Егоров стоит во главе всех комиссий, организуемых в России для наблюдения солнечных затмений. Затмение 7 августа 1887 г., происшедшее в неблагоприятных атмосферных условиях, дало, однако, ряд прекрасных фотографий солнечной короны и много ценных наблюдений; затмение 1896 г. позволило в первый раз получить фотографию обрабатывающего слоя фотосферы.

В позднейшее время Н. Г. Егоров уже не имел достаточно свободного времени для больших научных работ. Но его научная мысль продолжала работать, по прежнему его интересовали вопросы связи света и магнетизма и явления поляризации. Открытие явления Зеемана дало ему повод попробовать наблюдать это явление без спектроскопа, помощью обычных методов анализа частично поляризованного света, при чем он совместно с Н. Н. Георгиевским обнаружил ряд явлений, имеющих большое значение для полной теории явления Зеемана.

В 1894 г. деятельность Н. Г. Егорова получила новое направление. Д. И. Менделеев, приступив к организации Главной Палаты мер и весов, пригласил Н. Г. Егорова для устройства термометрической и барометрической лабораторий, как необходимых вспомогательных учреждений для первоочередной задачи Палаты — возобновления прототипов. Н. Г. Егоровым и его ближайшими сотрудниками было выполнено конструирование и установка нормального барометра и водородного термометра; при осуществлении этой задачи основой служили те методы и достижения, которые были даны Международным Бюро мер и весов. По завершении этой работы Н. Г. Егоров специально занялся метрологической задачей, близкой к прежней области его работ, — определением коэффициентов расширения по методу Физо, для чего им были сконструированы специальные установки и введены некоторые усовершенствования в технику метода.

Когда под влиянием запросов жизни возникла необходимость организовать в Главной Палате также и электрическое отделение, подготовительная работа по этой организации была возложена на Н. Г. Егорова, который ознакомился с постановкой дела поверки электрических измерительных приборов в большинстве европейских государств, на основании этих данных были организованы первые поверочные установки электрического отделения Палаты.

В 1900 г. Н. Г. Егоров, после назначения его помощником управляющего Главной Палатой мер и весов, окончательно расстался с профессорской деятельностью. Военно-Медицинская Академия, которой он отдал 35 лет работы, дала ему в это время звание заслуженного профессора и академика. В качестве помощника управляющего, Н. Г. Егоров первым делом должен был провести в жизнь намеченную Д. И. Менделеевым важнейшую задачу — организацию поверочного дела на местах, создание и оборудование поверочных палат и комплектование для них компетентного и преданного своему делу персонала. Дела тут был непочатый угол, и работникам поверочных учреждений хорошо известно, что сделано в этой области Н. Г. Егоровым.

После смерти Д. И. Менделеева в 1907 г. Н. Г. Егоров занял его место в качестве управляющего Палатой. Его задачей было сделать из Палаты Национальный Физико-Технический Институт, достойный занять место наряду с Международным Бюро мер и весов, с германским Физико-Техническим Имперским Институтом, с английской Национальной Физической лабораторией и с Бюро Стандартов в Вашингтоне. Следя непрерывно за работой этих учреждений, Н. Г. Егоров постепенно проводил в жизнь расширение деятельности Палаты в области специальных метрологических задач. Привлекая молодых сотрудников, он ставил все новые и новые задачи: изготовление эталонов основных электрических единиц, организацию радиотелеграфных измерений, устройство магнитной, радиологической и оптической лабораторий. Эти начинания сильно тормозились

все время скудостью средств, отпускаемых на Палату. Пересмотр положения о Палате в связи с ее новыми задачами, задуманный еще при Д. И. Менделееве в 1902 г., сильно затянулся, вследствие как бюджетных, так и общегосударственных причин, и лишь с 1 января 1917 года вступило в силу новое положение о Палате, несколько расширявшее ее возможности. Н. Г. Егоров уже не имел возможности провести в жизнь то, о чем он все время думал, но его сотрудники, воспринявшие его идеи о задачах и значении Палаты, взяли на себя дело дальнейшего воплощения их в жизнь.

С 1901 г. Н. Г. Егоров был избран членом Международного Комитета мер и весов, после отказа Д. И. Менделеева от этого звания, и с тех пор принимал активное участие во всех работах Комитета. Он был одним из первых инициаторов вопроса о расширении компетенции Международного Бюро. Встречаясь на сессиях комитета с представителями двух крупнейших не-метрических стран — Англии (д-ром Глэзбруком) и Соединенных Штатов С. Америки (Страттоном), он неоднократно развивал им свою мысль о желательности одновременного приступа к работам по введению метрической системы как в России, так и в этих двух странах. Когда в 1917 году, после февральской революции, вопрос о введении метрической системы, как обязательной, был поставлен на очередь в числе других реформ, Н. Г. Егоров деятельно принялся со своими сотрудниками за подготовительные работы. Работа несколько осложнилась политическими изменениями в стране, но в августе 1918 года специальной комиссией Главной Палаты мер и весов, под председательством Н. Г. Егорова, уже были выработаны все основные положения декрета об обязательном введении метрической системы, который вслед за тем был издан 14 сент. 1918 г. Немедленно после этого Н. Г. Егоров становится во главе Межведомственной Метрической Комиссии, учрежденной при Народном Комиссариате Торговли и Промышленности для практического проведения реформы. Однако,

его сил уже не надолго хватило на эту работу в тяжелых материальных условиях того времени. Частые поездки в Москву по делам Главной Палаты и метрической реформы отозвались на его

здоровьи и силах, и после одной из таких поездок Н. Г. Егоров пал жертвой непродолжительной, но тяжелой болезни (дизентерии) 22 июля 1919 года, на 70-ом году жизни. *Л. Исаков.*

Л. С. Коловрат-Червинский ¹⁾.

Дорогие товарищи!

За последние годы умерло большое число наших товарищей по науке; наши нервы как бы притупились и новые печальные известия лишь при исключительных условиях производят сильное на нас впечатление, болезненно отзываясь в наших сердцах. Такой случай мы имеем, когда смерть товарища должна сопровождаться гибелью великих твердо обоснованных надежд, когда мы чувствуем, что вместе с усопшим погибла надежда на скорый расцвет немаловажного уголка русской культуры, надежда на будущие честь и славу дорогой нам русской науки.

Таким то исключительным случаем и стоит перед нами внезапная безвременная кончина 24 января 1921 года нашего всеми любимого незабвенного Льва Станиславовича Коловрат-Червинского, вырванного из нашей среды на 38-ом году жизни. Наши сердца, сделавшиеся черствыми, содрогнулись, ибо мы поняли, что рушилась одна из главных в настоящее время опор, на которых строилась наша надежда на расцвет русской радиологии, ибо Лев Станиславович был, несомненно, глубочайшим в России знатоком этой, столь важной, новой науки.

Совет нашего Общества поручил мне представить вам доклад о жизни и о научных работах усопшего, и я счел себя обязанным взять на себя этот труд, так как в течение долгих годов он был

мне чрезвычайно близок. Еще будучи студентом, он как то особенно ко мне привязался, и наши отношения, сперва как учителя к ученику, быстро приняли характер, напоминающий отношение отца к сыну, а затем перешли в ту сердечную дружбу, которая нас связывала до последнего рокового часа.

Лев Станиславович родился 4 декабря 1884 года. В 1900 году он уже окончил вторую Петербургскую гимназию с золотой медалью, и поступил в Петербургский университет на физико-математический факультет по разряду математических наук, и одновременно на историко-филологический факультет по разряду германо-романских языков. В 1904 г. он окончил физико-математический факультет с дипломом первой степени и получил выпускное сви-



Л. С. Коловрат-Червинский.

детельство по историко-филологическому факультету, на котором он сдал все требуемые экзамены, за исключением последнего, государственного. По физико-математическому факультету он был оставлен при университете для приготовления к профессорскому званию.

Осенью 1904 г. он обратился ко мне с просьбой дать ему тему для экспериментальной работы. Так как в то время практические занятия студентов относились лишь к самым элементарным манипуляциям, я предложил ему, для упражнения, измерить поверхностное натяжение воды по способу малых волн (рыби); при этом я посоветовал ему установить между ярким источником света (вольтовой дугой) и поверхностью

¹⁾ Извлечение из речи, читанной в заседании Отделения физики, Р. Ф. Х. Общества 1924 г.

воды пластинку молочного стекла. Результаты этой маленькой работы были напечатаны (см. ниже).

В 1905 г. я, в связи с работой Е. А. Роговского, заинтересовался общим вопросом о температурном скачке на границе двух сред и предпринял исследование распределения температур на границе двух жидкостей, когда теплота течет по вертикальному направлению, т. е. перпендикулярно к плоскости раздела двух жидкостей. Мною был проектирован, построен и постепенно усовершенствован прибор, состоящий из стеклянного широкого цилиндра, в котором помещались, одна над другой, две испытываемые жидкости. Дно охлаждалось сосудом, через который текла вода, а поверхность верхней жидкости касалась сосуда с маслом, которое электрически нагревалось. Измерение температур производилось термоэлектрическим спаем, положение которого над и под плоскостью раздела двух жидкостей определялось при помощи катетометра. Я предложил Льву Станиславовичу помогать мне при измерениях. Его помощь оказалась весьма существенной и разносторонней; так, он, например, устраивал все термоэлементы. Когда все было налажено и начались измерения, мое хроническое заболевание достигло апогея и мне приходилось почти все время проводить лежа. Убедившись, что я не в состоянии продолжать работу, я ее целиком передал ему и он уже вполне самостоятельно довел ее до конца. Результаты продолжительных наблюдений он мог подвергнуть обработке лишь через несколько лет, находясь в Париже. В 1908 году появилась его обширная статья, в которой было правильно указано на то, что принадлежало мне. Я ограничился тогда краткой вводной статьей, в которой я изложил некоторые общие соображения о температурном скачке на границе двух веществ.

В 1906 г. Лев Станиславович уехал в Париж, где поступил сперва в лабораторию проф. Лапжевена, а затем, очень скоро, в лабораторию университета, которой заведывал проф. П. Кюри, а после его трагической смерти, его жена

М. Кюри-Складовская. Из Парижа он весьма часто мне писал, сообщая о своих работах. Сколько лет он работал в лаборатории Кюри, я точно сказать не могу. Во всяком случае не менее 4 лет, может быть и больше. Оставался он за границей, вероятно, до 1912 г., т. е. около шести лет. В 1908 г. совет Парижского университета удостоил его стипендии имени супругов Кюри, основанной Эндрью Карнеги. Эта стипендия назначается на два года, но в виде исключения она была продолжена Льву Станиславовичу на третий год. В 1912 г. Лев Станиславович сделал доклад о своих работах на конгрессе по радиологии в Брюсселе.

Возвратившись в Петербург, Лев Станиславович сдал в 1914 г. магистерский экзамен и затем поступил на службу в Академию Наук в качестве физика минералогической лаборатории при минералогическом музее, которым заведывал проф. В. И. Вернадский. В 1914 г. Лев Станиславович участвовал в радиевой экспедиции, отправленной Академией Наук в Ферганскую Область. С 1917 года он стал работать в Главной Палате мер и весов по вопросам радиоактивности, а с осени 1918 г. начал там же устраивать лабораторию высоких температур, на совместные средства Главной Палаты мер и весов и Института Физико-Химического Анализа при Академии Наук. Он вскоре был назначен заведующим этой лабораторией и был избран членом Института Физико-Химического Анализа.

В том же 1918 г., при возникновении Коллегии по организации пробного радиевого завода при Академии Наук, он был назначен членом этой Коллегии и стал выполнять ее поручения. Сюда относится, прежде всего, анализ русских радиевых минералов; далее, участие в организации радиевого завода в селе Березники, Пермской губернии и в сложном деле эвакуации туда имевшихся в Петрограде запасов радиевого сырья. В конце 1919 г. он поехал на этот завод, уже во главе комиссии, отправленной для возобновления деятельности завода после прерыва, вызванного политическими событиями.

В 1918 году Лев Станиславович был приглашен в Государственный Рентгенологический и Радиологический Институт для организации радиевого отделения, и с тех пор состоял действительным членом этого Института и заведующим радиевым отделением, а также представителем Института в Радиевой Ассоциации. В том же 1918 году он получил степень магистра физики после защиты диссертации под заглавием: „О выделении эманации из твердых или расплавленных солей, содержащих радий“. Последние годы своей, столь рано прерванной, жизни он провел в кипучей непрерывной деятельности в названных учреждениях, как все более и более всеми признанный лучший в России знаток всех теоретических и технических сторон радиологии.

Вот вам, дорогие товарищи, картина чисто внешней стороны жизни этого ученого, картина славной деятельности, богатой заслуженными успехами. Тут и лаборатория Академии Наук, и радиевое дело в Палате мер и весов, и лаборатория высоких температур, и радиевый завод в селе Березники, и Государственный Рентгенологический и Радиологический Институт. И все это вдруг прервано! Со страхом спрашивается: кто его заменит во всех этих начинаниях, еще не доведенных до той степени развития, при которой продолжение дела представлялось бы сравнительно уже более легким и не было бы опасности полной остановки, или даже разрушения начатого? Но мы, конечно, уверены, что начатое не рухнет, не исчезнет, что у нас найдутся люди, достойные наследники Льва Станиславовича, которые с успехом будут продолжать начатые важные дела, следуя заветам покойного.

Одна сторона обычной деятельности ученых отсутствовала у Льва Станиславовича: он не читал лекций. Когда он получил степень магистра физики, я его спросил, не намеревается ли он предложить факультету чтение курса основ радиологии, несомненно весьма желательного. Он был так завален текущей работой, что для чтения лекций, со всеми к ним приготовлениями, у него

не находилось времени. Однако, он, несомненно, был хороший лектор. На одном из первых собраний вновь возникшего радиологического Общества он сделал прекрасный доклад на тему о радиоактивных минералах в России с демонстрацией образцов этих минералов (в эспидиаскопе). То же самое можно сказать об его докладе об изотопах в Отделении преподавания физики и химии Р. Ф. Х. Общества.

Я должен подробно остановиться на поразительных лингвистических способностях Льва Станиславовича, очевидно, сыгравших не малую роль в его жизни и давших ему возможность почти вполне окончить романо-германское отделение историко-филологического факультета в те самые четыре года, в течение которых он находился на физико-математическом факультете. Он не только в совершенстве знал языки немецкий, французский, английский и итальянский, но также и шведский, голландский и испанский, а также, как он мне говорил, ново-греческий. Как он владел французским языком еще до поездки во Францию, видно из следующего. Когда он отправился в Париж, я написал издателю и владельцу книжного магазина, А. Негман'у, письмо с обычной просьбой отнестись благосклонно к такому то, который к нему явится. Впоследствии я получил письмо от А. Негман'а, который сообщил мне, что Лев Станиславович у него был и что он никак не может себе представить, чтобы явившийся к нему не был настоящим французом.

Это обширное знание языков развило у него замечательное лингвистическое чутье, которое привело его к безусловному неупотреблению терминов α — лучи, β — лучи и т. д. α — частицы, β — частицы и т. под.; вместо этих терминов он пользовался терминами альфовые, бетовые и т. д. лучи или частицы. Когда он в 1912 г. возвратился в Петербург, редакция Журнала Физического Общества поручила ему написать статью о радиоактивности, что он и исполнил, пользуясь терминами альфовые, бетовые и т. д. Несмотря на все протесты редакции, он не согласился

писать α — лучи, β — частицы и т. д., и статья была напечатана так, как он требовал. Вскоре после этого я обратился к нему с просьбой написать главу о радиоактивности для „Курса физики“, поставив, однако, условием писать α — лучи и т. д. После долгих споров, он согласился, но поместил оговорку, в которой он указал, что считает термины α — лучи и т. д. неправильными и что следовало бы писать альфовые лучи и т. д. Тогда я обратился к нескольким специалистам по русскому языку из университетских преподавателей. Каково же было мое удивление, когда они пришли в ужас от терминов α — лучи, β — частицы и т. д., сочли их совершенно недопустимыми, резко противными духу русского языка! Таким образом, оказалось, что чутье не обмануло Льва Stanisлавовича и что он был прав. На магистерском диспуте я указал ему на крайнее неудобство его терминологии и на то, что она ни в коем случае не привется, не будет общепринята. Тут же я рассказал о мнении специалистов-филологов и предложил ему ввести французскую терминологию *rayons α* и т. д., т. е. говорить и писать лучи α , лучи β , частицы α и т. д. Он вполне присоединился к моему предложению, относительно которого затем появилась заметка в Журнале Физического Общества. Пропаганда за новую терминологию прекратилась со смертью Льва Stanisлавовича, и до сих пор все (кроме меня), к величайшему сожалению, продолжают коверкать русский язык, пользуясь противными духу русского языка терминами α — лучи, β — частицы и т. д. Ведь не надо быть французом, чтобы чувствовать, что термин *les α — rayons* совершенно невозможен! Столь же невозможны и α — лучи. Если эти термины когда-нибудь исчезнут и будут заменены правильными русскими: лучи α , частицы β и т. д., то честь инициативы такой весьма необходимой чистки русского языка будет всецело принадлежать Льву Stanisлавовичу.

Перехожу к научным работам, из которых наиболее важные входят в состав магистерской диссертации. Сперва скажу о других работах. Лев Stanisлавович

построил несколько новых приборов, которыми можно пользоваться при радиологических исследованиях. Сюда относится прибор для удобного и быстрого заряжения электроскопов; он описан в *Phil. Mag.* за 1917 г. Далее, он разработал метод для количественного определения тория по способу эманации; повидимому, изложение этого метода в печати не появилось.

Привожу теперь обзор печатных трудов Льва Stanisлавовича, имевших дидактический, компилятивный или чисто вычислительный характер.

1. Основные понятия учения о радиоактивности. Напечатано в Журнале Русского Физического Общества за 1912 г.

2. В V томе „Курса физики“ обширная глава „Радиоактивность“.

3. Там же глава „Об элементарном количестве электричества и о числе Авогадро“.

4. Статья „Уран и радий“ в Химико-техническом справочнике, изданном Научно-Техническим Отделом Высшего Совета Народного Хозяйства (Н.-Т. О. В. С. Н. Х.) в 1919 г.

5. В сотрудничестве с М. Кюри отдел „Radioactivité“ в Сборнике физических постоянных, изданном Французским Физическим Обществом в 1912 г.

6. Знаменитые таблицы радиоактивных постоянных в „Le Radium“: 1 издание 1910 г., 2 издание 1913 г., 3 издание 1914 г. Этими таблицами пользовался весь мир; они считались наиболее достоверными.

7. Таблицы функций: $e^{-\lambda t}$ и $\frac{1}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}) = \tau(t)$, где λ — радиоактивная постоянная эманации радия; ее значение было в 1909 г. принято равным $\lambda = 0,00750 \text{ час.}^{-1}$.

В 1910 и 1911 годах М. Curie и E. Rutherford, независимо друг от друга, нашли одинаковое число $\eta = 0,00751 \text{ час.}^{-1}$; тогда Л. С. вычислил новые таблицы, которые и были напечатаны в 1913 г. Они целиком вошли в известное сочинение М. Curie о радиоактивности, а также в *Chemiker-Kalender*.

8. Рефераты научных работ и рецензии книг. Лев Станиславович составил огромное число рефератов и рецензий, напечатанных, главным образом, в „Le Radium“, а некоторые и в „Journal de Physique“. Они все появились за время от 1910 до 1914 года; общее их число около 250.

Перехожу к самостоятельным научным работам, не вошедшим в его магистерскую диссертацию.

1. Определение поверхностного натяжения воды по способу малых волн (см. выше); напечатано в Ж. Р. Ф. О. за 1908 г. Автор излагает теорию этого способа, рассматривает достижимую точность и два его видоизменения (немецкий и французский). Наибольшее отклонение от среднего $1,02\%$, а в одном ряде $0,76\%$. Измерения других ученых дали большие отклонения и только у Dogsey'a они меньше.

2. О температурном скачке на границе двух жидкостей (см. выше). Строго научная обработка опытного материала. Для случая ртути и воды получилась правильная, линейная зависимость температуры от расстояния до плоскости раздела. Наклон двух прямых дает для относительной теплопроводности воды и ртути в среднем число 13,1. В литературе имеются числа 12,2—11,2—15,0, среднее 12,8. Весьма интересный результат дали вода и оливковое масло: в воде прямая линия, но в масле изгиб внутри слоя в 1 мм толщины. В этом слое масло подверглось какому-то изменению (раствор воды, эмульсия). Скачек температур в обоих случаях не мог достигнуть $0,05^\circ$.

3. О медленном осаждении сернокислого радия. Осаждая RaCl_2 серной кислотой, М. Кюри заметила странное явление неполного осаждения RaSO_4 , что заставило ее подозревать существование промежуточного элемента между Ra и Em. Она поручила Льву Станиславовичу исследовать это явление, что ему и удалось. Остроумной вариацией опытов он показал, что здесь играет роль пересыщенность раствора и различная выделяемость эманации из твердых частиц и из растворов.

4. Попытка определить электропроводность радия D (1911). Есть повод предполагать, что RaD есть металл. Лев Станиславович осаждал RaD внутри капиллярной трубки между двумя впаянными в нее проволоками. Я в то время находился в Энгаузене (Engenhausen) в западной Германии. Лев Станиславович приехал навестить меня, привез трубку и объяснял мне ее назначение. Никогда не забуду этого посещения! Жизнерадостный, цветущий, веселый, весь погруженный в мысли о своих работах, он производил чарующее впечатление. Три раза Лев Станиславович повторял опыт с RaD, но заметной электропроводности не оказалось; он полагал, что RaD осаждался не сплошным слоем.

5. Измерение радиоактивности вод и воздуха пещер Ферганской Области. Труды радиевой экспедиции Академии Наук, № 8, 1916 г.

6. О выражении в абсолютной мере количеств радия, измеренных по способу эманации. Там же, 1918 г.

7. О выделении эманации из твердых или расплавленных солей, содержащих радий. Магистерская диссертация, напечатанная в Трудах радиевой экспедиции Академии Наук № 9, 1918 г., 116 страниц. Сводка важнейших работ Льва Станиславовича по названному вопросу. В нее вошла также, отдельно стоящая работа (1910 года) об испускании лучей β радием при минимуме его действия, т. е. когда еще не образовались продукты распада (RaB и RaC). Первая заметка о главной работе, соответствующей названию диссертации, была напечатана в 1907 г., вторая — в 1909 г., третья — в 1910 г. Сводка помещена в трудах Съезда по радиологии в Брюсселе. Результаты этой прекрасной работы вошли в книги М. Curie и Rutherford'a.

Я старался представить картину жизни и ученой деятельности нашего дорогого усопшего товарища. Эта картина, конечно, далеко не полна. Не знаю, например, подробностей о его поездке в Москву, осенью 1918 г., на совещание по вопросу о высоких температурах. Но и того, что я изложил, достаточно, чтобы понять, как велика наша потеря, как трудно будет его заменить, найти людей.

которые продолжали бы все то, чему он положил прочные основы. Но русская радиология, конечно, не погибнет. Ее развитие неминуемо будет задержано, но затем придет и время расцвета. Как

бы она ни расцвела, навсегда незабвенным останется в ее истории имя Льва Станиславовича Коловрат-Червинского.

О. Хвольсон.

А. Я. Тацитов.

4 марта 1923 года после тяжелой болезни скончался младший метролог Главной Палаты мер и весов Алексей Яковлевич Тацитов.

А. Я. Тацитов родился 7 февраля 1871 г. в г. Тамбове; по окончании Тамбовской гимназии поступил на естественное отделение физико-математического факультета Московского Университета, где специально занимался химией у проф. В. В. Морковникова и М. И. Коновалова. Начав службу, по окончании Университета в 1896 г., в пробирном управлении, А. Я. Тацитов в 1900 г. перешел в Технический Комитет Главного Управления неокладных сборов, где и протекала вся его деятельность до самой ликвидации Технического Комитета и передачи части его функций Главной Палате и где из него выработался крупный специалист по контрольным спиртоизмеряющим приборам и другим измерительным приборам, применяемым в акцизном деле. Как знаток этого вопроса, А. Я. Тацитов неоднократно получал командировки

в различные места России для правильной технической постановки контрольно-учетного дела на винокуренных и пивоваренных заводах и гильзовых фабриках.

В качестве химика А. Я. Тацитов принимал деятельное участие в работах

специальных комиссий при Техническом Комитете по вопросам денатурации спирта и его технического применения, по выработке инструкций для испытания продуктов, облагаемых акцизом, по изготовлению каучука и т. п.

По ликвидации Технического Комитета в 1921 г. А. Я. Тацитов перешел на службу в Главную Палату в лабораторию мер длины, где и работал до последних дней жизни, проявляя свою всегда присутствующую трудоспособность и крайне добросовестное отношение к делу.

Не чужд был А. Я. Тацитов и педагогической деятельности, состоя преподавателем средних учебных заведений. Последние три года своей жизни он был преподавателем Подготовительной Школы красного командного состава флота в Ленинграде.

М. Маликов.

В. А. Яковлев.

21 декабря 1924 года в 8 часов вечера внезапно скончался старший метролог Главной Палаты мер и весов Владимир Анатольевич Яковлев. Эта неожиданная смерть представляет тяжелую утрату для русской науки и техники, а всем тем, кто хорошо и близко знал его, она причинила глубокое горе.

В. А. Яковлев родился в Ленинграде 15 июля 1865 года. Среднее образование он получил в реальном училище, в 1884 г. поступил на математическое отделение физико-математического факультета Ленинградского (тогда С.-Петербургского) Университета. Он пробыл на этом факультете четыре года и за это время



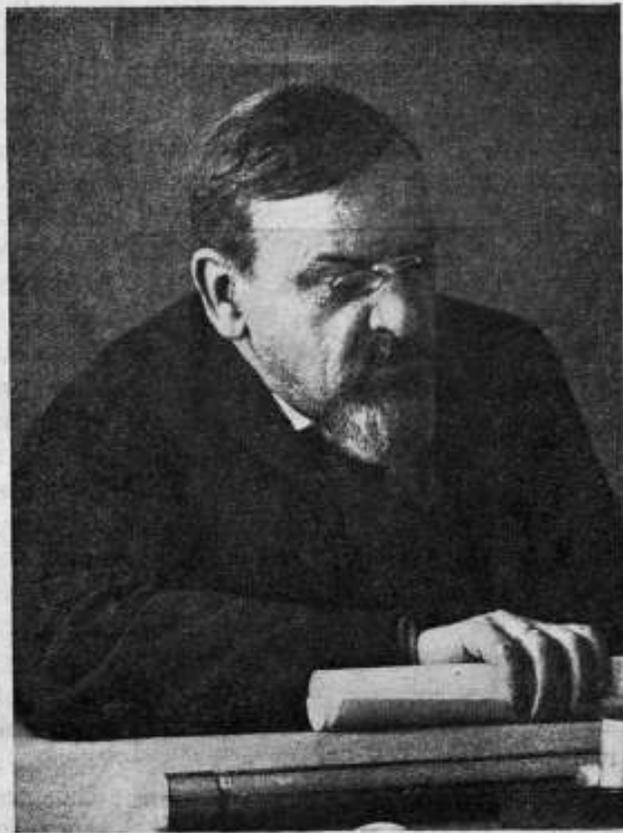
А. Я. Тацитов.

приобрел основательные знания по математике, механике и физике. Но в это же самое время его внимание привлекла химия, он стал заниматься ею все с большим и большим увлечением и к моменту окончания Университета в 1888 году это увлечение химией настолько его охватило, что он решил отказаться от своего первоначального физико-математического направления и исключительно посвятить свои силы изучению химии; этому своему новому направлению он остался верен до конца своей жизни и в химии он действительно нашел свое призвание. С целью более глубокого изучения химии он, по окончании Университета, поступил практикантом в химическую лабораторию Универси-

тета к профессору Д. П. Коновалову, в которой оставался до 1894 г. Эти годы он, можно сказать, провел исключительно в лаборатории, все время занимаясь изучением химии и теоретической и экспериментальной, и работая, главным образом, в области неорганической и физической химии. Решив посвятить себя научной деятельности и увидев, что для этого необходимо иметь близкое знакомство с иностранной химической литературой, он обратил особое внимание на изучение иностранных языков и очень скоро сделал в них громадные успехи, в совершенстве овладев французским, немецким и английским языками. Вообще надо отметить необычайную способность В. А. Яковлева

к иностранным языкам; так, напр., позже он очень быстро овладел итальянским языком и пользовался им совершенно свободно. За эти годы пребывания в университетской лаборатории проф. Д. П. Коновалова, В. А. Яковлев получил солидную научную подготовку, основательным образом изучил

иностранную химическую литературу, за которой он потом всю свою жизнь следил очень внимательно, и приобрел тот прочный и твердый научный фундамент, который в его дальнейшей деятельности позволял ему блестящим образом разрешать различные научные и технические вопросы. В это же время он состоял сотрудником Энциклопедического Словаря Брокгауза и



В. А. Яковлев.

Эфрона, в котором поместил ряд статей (Вода в природе, Глюкозиды, Графит, Декстрин, Желатина, Иодоформ, Гесс, Жерар и др.). Проводя все свое время в лаборатории, зная всех работающих в лаборатории от профессоров до студентов, приобретаю глубокое познание в химии и большую эрудицию, обладая при этом прекрасным отзывчивым сердцем и широким умом, В. А. Яковлев естественно сделался тем центром, вокруг которого стали группироваться и объединяться молодые начинающие химики — будущие ученые и профессора. Здесь впервые В. А. Яковлев проявил свой организаторский талант, основав «Маленькое Химическое Общество» (1892 г.), которое вначале состояло из

нескольких человек, собиравшихся для научных докладов и бесед у него на квартире, но которое затем быстро разрослось, стало собираться уже в университете, и многие заседания этого Общества приходилось устраивать в большой химической аудитории. «Маленькое Химическое Общество» создало ту здоровую и бодрую атмосферу, в которой возникали, росли и развивались молодые творческие силы в области химии. Общество это продолжает существовать и в настоящее время, и в истории развития химии в России оно, без сомнения, сыграло очень большую роль. Заслуга В. А. Яковлева в этом отношении чрезвычайно велика, так как он был не только основателем, но, особенно в первые годы, руководителем и вдохновителем этого общества.

В 1894 году В. А. Яковлев оставляет университетскую лабораторию и надолго, почти на всю свою остальную жизнь, переходит к деятельности в области прикладной химии и техники. Он получает место химика на Охтенских пороховых заводах, на которых остается до 1899 г. Здесь ему пришлось встретиться с совершенно для него новой областью производства взрывчатых веществ, главным образом, бездымного пороха. Несмотря на все трудности в этом деле, тогда еще мало изученном, В. А. Яковлев быстро овладел им и скоро сделался одним из крупных специалистов по взрывчатым веществам. Труды его в этой области почти никому неизвестны, так как по условиям секретности производства совершенно не разрешались какие бы то ни было сообщения и доклады в научных обществах, и тем более печатание их, но тем не менее можно указать, что ему удалось сделать очень большие достижения в вопросе о стойкости бездымных порохов, путем прибавки к ним в качестве «стабилизатора» дифениламина. Работа эта, в виде секретного издания, по распоряжению Главного Артиллерийского Управления была напечатана для руководства пороховым заводам, а через 13 лет этот порох был введен в русской армии и флоте. Интересно указать, что приблизительно в это же время дифениламин был введен

в употребление при производстве германского бездымного пороха. В 1900 г. В. А. Яковлев покидает Охтенские пороховые заводы и переходит на Обуховский завод в качестве заведующего испытательными лабораториями (химической и механической). Здесь ему снова пришлось заняться совершенно новыми для него вопросами металлургии и металлографии стали, и здесь во всем блеске проявились его способности и глубокое знакомство с наукой. Он быстро овладел предметами и произвел целый ряд исследований, касающихся главным образом пороков и недостатков стали и способов устранения их. В этих вопросах он достиг значительных результатов, имевших не только научное, но и практическое значение, так как они касались производства таких ответственных изделий, какими являются орудия самых крупных калибров. Его многочисленные и тщательные научные исследования в области металлургии и металлографии стали, касающиеся главным образом роли и влияния сернистого марганца на свойства стали, и разгара артиллерийских орудий, точно также, как и работы в области порохов, не могли быть опубликованы по тем же причинам секретности производства, но работы эти все же нам более известны благодаря тому, что, хотя и с большим трудом, В. А. Яковлев получал разрешение выступать с докладами в заседаниях Русского Металлургического Общества. Вот перечень его наиболее значительных докладов на этих заседаниях:

1910 г. — «Связь между микроструктурой и видом излома при разрыве стали».

1911 г. — «Сернистый марганец и пороки стали».

1912 г. — «Металлографическая экспертиза для определения дефектов стальных изделий».

1915 г. — «О разгаре канала артиллерийских орудий».

Все эти работы напечатаны не были по мотивам «военной тайны» и поэтому остаются недоступными для металлургов. Изданная на правах рукописи работа о разгаре орудий советом заводов Морского Ведомства была награждена

премией в 1000 руб. (в 1913 году). Насколько велико значение исследований В. А. Яковлева можно судить из того, что весьма значительный брак стали на Обуховском заводе, существовавший до его работ, стал быстро уменьшаться и почти совершенно прекратился после того, как контроль за производством стали перешел к В. А. Яковлеву. Здесь же надо указать, что в связи с его исследованиями о влиянии сернистого марганца на свойства стали, выяснившими вред его даже при незначительных количествах, на Обуховском заводе была устроена первая в России электрическая печь для рафинирования стали. Осуществление этого дела было поручено особой комиссией, в которой В. А. Яковлев принимал самое деятельное участие, и комиссия эта остановилась на печи Эру, т. е. на таком типе, который и до сих пор является самым удачным. К этому же периоду жизни В. А. Яковлева относится деятельность его в качестве одного из основателей и организаторов Русского Металлургического Общества. Заслуга учреждения этого Общества (в 1910 году), объединившего работу всех русских металлургов и имевшего громадное значение для русской металлургии, в значительной мере принадлежит В. А. Яковлеву, и его по справедливости можно назвать основателем Русского Металлургического Общества, товарищем председателя которого он состоял последние годы.

В 1918 г. В. А. Яковлев покидает Обуховский завод и переходит в Главную Палату мер и весов, где занимает должность старшего метролога и заведующего химической лабораторией. И здесь он проявил свойственную ему инициативу и энергию, принимая с одной стороны деятельное участие в реорганизации Главной Палаты, с другой стороны организуя и развивая химическую лабораторию. Благодаря его трудам, химическая лаборатория развивается в крупное научное учреждение, преследующее определенные научные задачи, обставляется и заново оборудуется. В это же время В. А. Яковлев принимал активное участие в организации при Главной Палате Комитета Эталонов и Стандартов,

в котором был заведующим химическим отделом и заместителем председателя.

Оставив в 1918 году заводскую деятельность, В. А. Яковлев получил возможность вернуться к занятиям в области теоретической науки. Его внимание привлекают новейшие достижения в области радиоактивных веществ, трансмутации элементов, строения атомов, рентгенологических исследований, спектров ультрафиолетовых лучей. Он тщательно собирает и изучает литературу этих вопросов, строит ряд гипотез и концепций, ставит экспериментальные работы и исследования в лаборатории. На 2-ом Съезде научных деятелей по металлургии в 1924 году он выступает с большим докладом: „Свойства двойных металлических сплавов и кристаллическая структура металлов, открываемая X-лучами“. Неожиданная смерть прервала эту кипучую деятельность в самом разгаре и не позволила довести эти работы до законченного вида.

После В. А. Яковлева осталось мало печатных трудов, так как по условиям его деятельности на заводах Военного и Морского Ведомства печатание его работ и исследований совершенно не допускалось. В научных журналах можно встретить небольшие рефераты его работ, относящихся к раннему периоду его научной деятельности, когда он только намечал свои пути, а также небольшие заметки, относящиеся к последнему периоду его жизни и касающиеся работ, которые не успели быть выполненными благодаря тяжелым условиям последних лет. Но сопоставляя его крупную деятельность на заводах и отрывочные указания в рефератах и заметках (влияние переохлаждения при криоскопических определениях, о понижении растворимости некоторых жидкостей в воде солями (Ж.Р.Х.О. 50,625), получение свободной азотистой кислоты, получение жирных аминов при помощи азотистых металлов (Ж. Р. Х. О. 39,1150), криогидраты и эвтектические смеси с точки зрения рентгенологических отношений, способы получения $KMnO_4$, применение медных солей нафтеновых кислот для пропитывания тканей и пр.),

можно видеть насколько крупным, широким и разносторонним ученым был В. А. Яковлев. Он соединял в себе и глубокое знакомство с теоретической наукой и близкое знание прикладной науки и техники, и благодаря этому ко всякому практическому вопросу он подходил с научной стороны и для всякого научного открытия искал практического применения.

Широко образованный, близко знакомый и с научной и с общей литературой, он был проникнут энтузиазмом к науке и знанию и интересы истины и научной правды ставил выше всего. Неудивительно, что все эти его качества

в соединении с высокими душевными свойствами, отзывчивым и доброжелательным отношением ко всем окружающим, в соединении с его добрым и жизнерадостным настроением, снискали ему всеобщую любовь и симпатию. Ученый, поэт, музыкант, он всюду вносил жизнь, одушевление и светлое радостное настроение. В его широком и любящем сердце находилось место для всех, и в сердцах тех, кто его близко знал, он занимал много места и после его смерти у всех в сердце осталась пустота, которую нечем заполнить.

А. Байков.

УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ, ПОМЕЩЕННЫХ В ЧАСТЯХ 1—12 ВРЕМЕННОКА
ГЛАВНОЙ ПАЛАТЫ МЕР И ВЕСОВ.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ.

	Часть.	Страницы.	№ статьи по порядку.
Барометр № 2 Главной Палаты. <i>И. Лебедев</i>	2	105—117	9
Бочки, измерение их вместимости по линейным размерам. <i>А. Доброхотов</i>	4	122—137	25
Взвешивания точные, приемы. <i>Д. Менделеев</i>	3	3—84	14
Вода, определение объема килограмма	10	96—97	103
Вода, удельный вес от 0° до 30°. <i>Д. Менделеев</i>	2	133—143	11
Вода, удельный вес. <i>Д. Менделеев</i>	3	133—135	19
Волномеры, точность их. <i>Л. Исаков</i>	11	113—118	4
Весы для определения % влажности	10	93—95	102
Весы неравноплечные для золотых монет	10	92	101
Весы неравноплечные, прибор для их поверки. <i>М. Шестаков</i>	8	185—188	78
Весы неравноплечные, способ закрепления призмы	9	60—64	84
Весы равноплечные, расчет наибольшей нагрузки. <i>К. Смирнов</i>	9	121—142	90
Вес куб. дециметра воды. <i>Д. Менделеев</i>	2	1—52	6
Вес литра воздуха. <i>Д. Менделеев</i>	1	57—88	2
Главная Палата мер и весов, географическое поло- жение. <i>Ф. Блумбах</i>	3	108—117	17
Главная Палата мер и весов, ее учреждение и деятельность. <i>М. Младенцев</i>	8	42—90	70
Городские общественные управления, циркуляр <i>М. В. Д.</i> о выверке и клеймении мер и весов	6	119—121	44
Городские общественные управления, циркуляр Управляющего Главной Палатой о выверке и клеймении мер и весов	6	122—124	45
Длительность года, письмо <i>С. Ньюкомба</i>	6	84—90	38
Емкость мер по линейным размерам. <i>К. Егоров</i>	6	136—182	49
Закон о мерах и весах	7	93—107	58
Закон о мерах и весах, изменения	7	175—176	66

	Часть.	Страницы.	№ статьи по порядку.
Зерно, определение торгового достоинства. <i>А. Доброхотов</i>	8	103—111	73
Инструкция для внезапных ревизий	7	177—178	67
Инструкция для поверки торговых мер и весов	4	50—56	22
Инструкция для поверки точных торговых мер жидкостей	9	65—66	85
Инструкция для применения образцовых мер и весов	4	46—49	22
Калибровка капилляров. <i>А. Георгиевский</i>	11	29—112	3
Карат метрический, протокол совещания	9	143—145	91
Колебание весов, речь на X съезде Естествоиспытателей в Киеве. <i>Д. Менделеев</i>	4	33—45	21
Колебания при истечении. <i>Д. Менделеев</i>	7	167—169	64
Колориметры, исследование их. <i>А. Кремлев</i>	10	66—87	99
Маятник, влияние трения ножа о подставку на время качания. <i>Е. Разумицина</i>	9	56—59	83
Меры длины 1,806 метра (по перечню № 9) исследование дюймовых частей. <i>С. Ламанский</i>	2	118—132	10
Мерник, описание устройства	10	88—91	100
Меры русские, исторический очерк. <i>М. Младенцев</i>	8	178—184	77
Метр, определение длины в световых волнах	10	96—97	103
Некрологи: <i>Д. И. Менделеева</i>	8	3—18	прил.
„ <i>В. Д. Сапожникова</i>	10	161—162	—
„ <i>И. А. Лебедева</i>	10	163—165	—
„ <i>В. А. Бородовского</i>	11	119—121	—
Обозначения, принятые Главной Палатой мер и весов	2	186—187	—
Объемомер для порошкообразных тел. <i>А. Доброхотов</i>	8	91—98	71
Ом международный, ртутные образцы. <i>А. Георгиевский и М. Маликов</i>	12	1—206	5
Отчет Ф. И. Блумбаха о командировке в Сибирь	3	124—132	18
Отчет Ф. И. Блумбаха о командировке в Прибалтийский край	5	145—170	31
Отчет А. Н. Доброхотова о командировке в Москву и с. Павлово	5	17—35	26
Отчет А. Н. Доброхотова и Н. Г. Егорова о ревизии Государственного Банка	5	60—63	28
Отчет А. Н. Доброхотова, К. Н. Егорова и В. А. Мюллера о ревизии Почтамта	5	63—73	29
Отчет А. Н. Доброхотова о командировке в Тверь, Москву и другие города	6	1—24	34
Отчет К. Н. Егорова о командировке в Варшаву, Лодзи, Люблин	5	74—144	30
Отчет К. Н. Егорова о командировке в Рязань, Сузрань и другие города	6	46—83	37
Отчет К. Н. Егорова о командировке в Смоленск, Чернигов и Киев	6	99—108	40

	Часть.	Страницы.	№ статьи по порядку.
Отчет Ф. П. Завадского и В. А. Мюллера о командировке по вопросу о водомерах	7	161—166	63
Отчет С. И. Ламанского о командировке на западную границу	1	108—123	4
Отчет С. И. Ламанского о командировке в Нижний, Казань и другие города	3	119—124	18
Отчет И. А. Лебедева о командировке в Киев, Кременчуг и другие города	7	34—53	56
Отчет В. А. Мюллера о командировке в Гельсингфорс	9	101—120	89
Отчет А. К. Семенова о ревизиях в Киевской губернии	7	111—153	61
Отчет А. И. Скиндера о ревизии Спб. Городской Управы	1	103—108	4
Перечень образцовых гирь и мер длины. <i>Ф. Завадский</i>	1	89—102	3
Тоже <i>Ф. Завадский</i>	2	144—156	12
Поверочные Палатки в 1900—1901 гг. <i>В. Патрухин</i>	6	129—133	47
Поверочные Палатки в 1902 г. <i>В. Патрухин</i>	7	23—28	53
Поверочные Палатки в 1903 г. <i>В. Патрухин</i>	7	154—160	62
Поверочные Палатки в 1904 г. <i>В. Патрухин</i>	7	179—184	68
Поверочные Палатки в 1905 г. <i>В. Патрухин</i>	8	131—138	75
Поверочные Палатки в 1906 г. <i>В. Патрухин</i>	9	1—10	79
Поверочные Палатки в 1907 г. <i>В. Патрухин</i>	9	67—81	86
Поверочные Палатки в 1908 г. <i>В. Патрухин</i>	10	1—18	93
Поверочные Палатки в 1909 г. <i>В. Патрухин</i>	10	47—65	98
Поверочные Палатки в 1910 г. <i>В. Патрухин</i>	10	137—156	108
Поверочные палатки, учреждение новых и изменение узаконений о мерах и весах	7	31—33	55
Положение о мерах и весах	5	3—16	—
Правила для испытания и поверки таксометров	10	157—159	109
Правила для испытания и поверки электрических измерительных приборов	6	109—113	41
Правила для испытания и поверки электрических измерительных приборов (дополнит.)	7	109—110	60
Правила для поверки ареометров	9	82—84	87
Правила для поверки водомеров	6	117—118	43
Правила для поверки водомеров	7	29—30	54
Правила для поверки манометров	6	134—135	48
Правила нормирующие деятельность Поверочных Палаток	6	33—45	36
Правила об устройстве весов	6	183—188	50
Правила об устройстве измерительных сосудов и мерников	10	43—46	97
Правила о применении электрических измерительных приборов	10	19—26	94
Программа для испытания поверителей	5	179—181	33

	Часть.	Страницы.	№ статьи по порядку.
Прототипы, возобновление их. <i>Д. Менделеев</i>	2	157—185	13
Пурка Гамбургская и Германская. <i>А. Доброхотов</i>	8	112—130	74
Пурка, исследование прибора. <i>А. Доброхотов</i>	4	1—30	20
Пурка, предварительные исследования. <i>Ф. Селиванов</i>	1	124—149	5
Радиоактивные минералы Ильменских месторождений. <i>В. Бородовский</i>	11	17—28	2
Сажень железная Комиссии 1833 г. <i>В. Глухов</i> и <i>Ф. Завадский</i>	1	1—56	1
Счетчики электрической энергии, испытание типов. <i>И. Лебедев</i>	8	139—177	76
Счетчики электрической энергии, список одобренных типов	9	146—147	92
Таблицы для определения вместимости бочек	5	171—178	32
Таблицы для поверки образцовых стеклянных мер жидкости	9	11—16	80
Таблицы для поверки точных торговых мер жидкости	9	17—19	81
Таблицы погрешностей в мерах и весах и такса за поверку	6	189—207	51
Такса за выверку и клеймение в Главной Палате	6	125—128	46
Такса за выверку и клеймение торговых мер и весов	7	107—108	59
Такса за испытание и поверку электрических приборов	10	27—30	95
Такса за поверку электрических измерительных приборов	6	114—116	42
Термоиндикатор для настройки резонанса. <i>Л. Исаков</i>	10	132—136	107
Термометрия, поправки рабочих термометров. <i>Н. Георгиевский</i>	2	77—96	8
Термометрия, современное состояние. <i>Н. Егоров</i>	2	55—76	7
Термометр водородный. <i>И. Лебедев</i>	4	57—80	23
Тяжесть, изучение напряжения <i>А. Иванов</i>	7	54—92	57
Тяжесть, определение абсолютного напряжения. <i>Д. Менделеев</i>	8	1—41	69
Тяжесть, определение напряжения. <i>А. Иванов</i>	9	20—55	82
Тяжесть, определение напряжения при помощи длинных маятников. <i>А. Иванов</i>	9	85—100	88
Тоже. <i>А. Иванов</i>	11	1—16	1
Углекислый газ, содержание в воздухе. <i>А. Доброхотов</i>	3	85—92	15
Фунт, аршин, — замурование их копий	6	25—32	35
Фунт, килограмм, аршин, метр, — хранение копий их в Московской Оружейной Палате	6	91—98	39
Центр тяжести, положение его в правильных телах. <i>А. Доброхотов</i>	8	99—102	72
Электрические единицы, Лондонская конференция 1908 г. <i>Н. Егоров</i>	10	100—121	105
Электрические единицы, приготовление эталонов. <i>Н. Егоров</i>	10	122—131	106

	Часть.	Страницы.	№ статьи по порядку.
Электрические измерительные приборы, выверка их в западно-европейских государствах. <i>Н. Егоров</i>	4	81—121	24
Электрическое поверочное учреждение в Баку. <i>И. Лебедев</i>	10	98—108	104
Электрическое отделение Главной Палаты. <i>И. Лебедев</i>	7	1—22	52
Электрическое отделение, установка для работ на переменном токе. <i>А. Фермиен</i>	10	31—42	96
Элементы нормальные. <i>М. Иванов</i>	5	36—59	27
Ярд и английский фунт, сличение их с английскими прототипами. <i>Ченей, Д. Менделеев и Ф. Блумбах</i>	3	93—107	16
Certificat du Thermomètre Tonnelot № 4532	2	98—104	—
Certificat du Thermomètre Tonnelot № 11044	7	170—174	65

УКАЗАТЕЛЬ ПО АВТОРАМ.

	Часть.	Страницы.	№ статьи по порядку.
<i>Блумбах, Ф. И.</i> Протоколы сличений ярда и английского фунта с английскими прототипами	3	93—107	16
— Географическое положение Главной Палаты мер и весов	3	108—117	17
— Отчет о командировке в Сибирь	3	124—132	18
— Отчет о командировке в Прибалтийский край.	5	145—170	31
<i>Бородовский, В. А.</i> Радиоактивные минералы Ильменских месторождений	11	17—28	2
<i>Георгиевский, А. Н.</i> Калибровка капилляров	11	29—112	3
— Ртутные образцы международного ома	12	1—206	5
<i>Георгиевский, Н. Н.</i> Определение поправок для рабочих термометров	2	77—96	8
<i>Глухов, В. С.</i> Сравнения железной сажени Комиссии 1833 г. с разными мерами длины	1	1—56	1
<i>Доброхотов, А. Н.</i> Количество CO ² в воздухе весовой комнаты	3	85—92	15
— Исследование пурки	4	1—30	20
— Измерение вместимости бочек по линейным размерам	4	122—137	25
— Отчет о командировке в Москву и с. Павлово	5	17—35	26
— Отчет о ревизии Государственного Банка	5	60—63	28
— Отчет о ревизии СПб. Почтамта	5	63—73	29
— Отчет о командировке в Тверь, Москву и другие города	6	1—24	34
— Объемомер для быстрого определения плотности и объема порошкообразных тел	8	91—98	71
— К вопросу об определении положения центра тяжести в правильных телах	8	99—102	72
— К вопросу об определении торгового достоинства зерна	8	103—111	73
— Гамбургская и Германская пурка	8	112—130	74
<i>Егоров, К. И.</i> Отчет о ревизии Спб. Почтамта	5	63—73	29
— Отчет о командировке в Варшаву, Лодзь и Люблин	5	74—144	30
— Отчет о командировке в Рязань, Сызрань и другие города	6	46—83	37
— Отчет о командировке в Смоленск, Чернигов и Киев	6	99—108	40

	Часть.	Страницы.	№ статьи по порядку.
— К вопросу об определении емкости мер по их линейным размерам	6	136—182	49
<i>Егоров, Н. Г.</i> Современное состояние термометрии	2	55—76	7
— О правительственной выверке электрических измерительных приборов в западно-европейских государствах	4	81—121	24
— Отчет о ревизии Государственного Банка	5	60—63	28
— Лондонская международная Конференция об электрических единицах и эталонах	10	109—121	105
— Предварительные работы по приготовлению эталонов основных электрических единиц	10	122—131	106
— Некролог Д. И. Менделеева	8	3—18	прил.
<i>Завадский, Ф. П.</i> Сравнения железной сажени комиссии 1833 г. с разными мерами длины	1	1—56	1
— Перечень (1-й) образцовых гирь и мер длины	1	89—102	3
— Перечень (2-й) образцовых гирь и мер длины	2	144—156	12
— Отчет о командировке по вопросу о водомерах	7	161—166	63
<i>Иванов, А. А.</i> К изучению напряжения тяжести при помощи несвободного падения тел	7	54—92	57
— Попытка определения напряжения силы тяжести из наблюдения несвободного падения тел	9	20—55	82
— Предварительные опыты, относящиеся к абсолютному определению силы тяжести при помощи длинных маятников	9	85—100	88
— Абсолютное определение напряжения силы тяжести при помощи длинных маятников	11	1 16	1
<i>Иванов, М. В.</i> Нормальные элементы Латимера Кларка	5	36—59	27
<i>Исаков, Л. Д.</i> Термондикатор для настройки электрических колебательных цепей в резонанс по нулевому методу	10	132—136	107
— О точности волномеров	11	113—118	4
<i>Кремлев, А. М.</i> Исследование колориметров, применяемых в нефтяном деле	10	66—87	99
<i>Ламанский, С. И.</i> Отчет о командировке на западную границу	1	108—123	4
— Отчет о командировке в Нижний Новгород, Казань и другие города	3	119—124	18
— Исследование дюймовых частей меры длины, обозначенной в перечне под № 9	2	118—132	10
<i>Лебедев, И. А.</i> Барометр № 2 Главной Палаты мер и весов	2	105—117	9
— Водородный термометр	4	57—80	23
— Электрическое отделение Главной Палаты мер и весов	7	1—22	52
— Отчет о командировке в Киев, Кременчуг и другие города	7	34—53	56
— Испытание систем и типов счетчиков электрической энергии	8	139—177	76
— Бакинское электрическое поверочное учреждение	10	98—108	104

	Часть.	Страницы.	№ статьи по порядку.
<i>Маликов, М. Ф.</i> Ртутные образцы международного ома	12	1—206	5
<i>Менделеев, Д. И.</i> О весе литра воздуха	1	57—88	2
— О весе определенного объема воды	2	1—52	6
— Об изменении удельного веса воды при нагре- вании от 0° до 30°	2	133—143	11
— Ход работ по возобновлению прототипов длины и веса	2	157—185	13
— О приемах точных или метрологических заве- шиваний	3	3—84	14
— Протоколы сличений ярда и английского фунта с английскими прототипами	3	93—107	16
— Еще об изменении удельного веса воды	3	133—135	19
— О колебании весов. Речь на X Съезде Есте- ственноиспытателей и Врачей в Киеве	4	33—45	21
— Колебания при истечении	7	167—169	64
— Подготовка к определению абсолютного на- пряжения тяжести при помощи длинного маятника	8	1—41	69
<i>Младенцев, М. Н.</i> Учреждение Главной Палаты мер и весов и ее деятельность	8	42—90	70
— Краткий исторический очерк русских мер	8	178—184	77
<i>Молчанов, Е. И.</i> Обзор деятельности местных по- верочных учреждений за 1910 год	10	137—156	108
<i>Мюллер, В. А.</i> Отчет о ревизии СПб. Почтамта	5	63—73	29
— Отчет о командировке по вопросу о водо- мерах	7	161—166	63
— Отчет о командировке в Гельсингфорс	9	101—120	89
<i>Ньюкомб, С.</i> Письмо о длительности тропического года	6	84—90	38
<i>Патругин, В. А.</i> Обзор деятельности палаток за 1900, 1901, 1902, 1903, 1904, 1905, 1906, 1907, 1908, 1909 и 1910 г.г., часть 6, 7, 8, 9 и 10, №№ 47, 53, 62, 68, 75, 79, 86, 93, 98 и 108	—	129—133	—

ОГЛАВЛЕНИЕ

I (13) выпуска Временника Главной Палаты мер и весов.

	Стр.
От Редакционного Комитета Главной Палаты мер и весов	2
<i>А. Н. Доброхотов.</i> — Определение удельного веса воздуха	3—9
<i>Н. И. Адамович.</i> — Платиноиридиевая полусаженная мера $\pi 4$	10—40
I. Форма и размеры полусажени	10
II. Система штрихов	11
III. Компаратор	15
IV. Метрическая шкала платиноиридиевой полусаженной меры	18
V. Дюймовые подразделения платиноиридиевой полусаженной меры	27
VI. Коэффициент расширения метра II ($1/3 - 10^{1/2}/\mu$) dm	30
VII. Отношение аршина к метру и ярда к метру	34
Заключение	39
<i>Н. Х. Прейсич.</i> — Установление и хранение точного времени	41—119
Глава I. Эталонная Лаборатория времени и ее оборудование	41
§ 1. Задачи лаборатории. — § 2. Нормальные часы лаборатории. — § 3. Установка нормальных часов. — § 4. Вспомогательные часы лаборатории. — § 5. Астрономическая обсерватория. — § 6. Распределительная доска.	
Глава II. Метод определения поправок часов	47
§ 7. Основные положения. — § 8. Формула Tobias Mayer'a для вывода поправки часов. — § 9. Определение координат звезд и наблюдаемых моментов прохождений. — § 10. Определение инструментальных ошибок и вывод поправки часов. — § 11. Факторы, влияющие на точность определения поправки часов. — § 12. Каталог пассажного инструмента Главной Палаты.	
Глава III. Метод сличения часов	53
§ 13. Цель сличения часов. — § 14. Способ сличения часов. — § 15. Обработка результатов сличения.	
Глава IV. Исследование часов за период октябрь 1921 г. — декабрь 1922 г.	57
§ 16. Поправки часов $R_{\text{ср}}^*$ и средние условия их работы. — § 17. Исследование абсолютных ходов часов $R_{\text{ср}}^*$ по способу Wapach'a. — § 18. Предварительные замечания о „барометрическом коэффициенте“ часов. — § 19. Определение коэффициентов плотности из относительных ходов часов. — § 20. Предварительные замечания по вопросу о средней температуре часов. — § 21. Исследование температурных коэффициентов часов на основании относительных ходов.	
Глава V. Исследование часов за 1923 г.	76
§ 22. Влияние плотности воздуха на ход часов и на амплитуду маятника. — § 23. Влияние температуры на ход часов и на амплитуду маятника. — § 24. Влияние амплитуды на ход часов. — § 25. Вариации ходов часов.	
Глава VI. Интерполяция поправок часов за период декабрь 1922 г. — декабрь 1923 г.	83
§ 26. Предварительные замечания. — § 27. Формула для интерполяции поправок часов R_0^* за период декабрь 1922 г. — март 1923 г. — § 28. Метод интерполяции поправок часов за период март — декабрь 1923 г. — § 29. Приложение метода к отдельным часам. — Таблица XXIX. Журнал ежедневных сличений часов с 20 февраля по 31 декабря 1923 г.	

	Стр.
<i>И. В. Мецкерский.</i> — Теоретические исследования манометрической трубки	120—129
§ 1. Работы Hill'a, Rayleigh'а и Worthington'а.— § 2. Первая формула H. Lorenz'a.— § 5 Вторая формула H. Lorenz'a.	
<i>М. Ф. Маликов.</i> — Эталон международного вольта	130—156
§ 1. Международные электрические единицы.— § 2. Нормальный элемент Вестона.— § 3. Нормальные элементы Главной Палаты мер и весов.— § 4. Эта- лонная группа нормальных элементов Вестона.— § 5. Метод сравнения нор- мальных элементов.— § 6. Работы с серебряным вольтметром.— § 7. Между- народные сравнения нормальных элементов.— § 8. Результаты наблюдений над нормальными элементами.— § 9. Группа нормальных элементов из Национальной Физической Лаборатории.— § 10. Переносные элементы Вестона.— Литература.	
<i>А. Н. Боголюбовский.</i> — Теория радиометра и радиометрической съемки	157—167
<i>М. Ф. Маликов.</i> — Прибор для определения объема тел вращения	168—171
<i>В. С. Габель.</i> — О современных способах поверки волномеров	172—174
<i>С. О. Майзель.</i> — Положение вопроса о световых единицах	175—181
<i>Н. П. Тарасов.</i> — Римские неравноплечные весы (безмены) в Государствен- ном Эрмитаже	182—185
Некрологи.	
<i>Н. Г. Егоров</i>	186
<i>Л. С. Коловрат-Червинский</i>	190
<i>А. Я. Тацитов</i>	195
<i>В. А. Яковлев</i>	195
Указатель статей, помещенных в частях 1—12 Временника Главной Палаты мер и весов	200

TABLE DES MATIÈRES

de la I (13) partie de WREMENNİK (Annales) de la CHAMBRE CENTRALE DES POIDS ET MESURES.

	Pages
Avant-propos du Comité de rédaction de la Chambre Centrale des poids et mesures	2

A. N. Dobrokhotoff. Détermination du poids spécifique de l'air	3—9
---	-----

L'auteur a réalisé la méthode qui avait été proposée par D. I. Mendéléeff pour la détermination du poids spécifique de l'air moyennant la comparaison dans l'air des deux corps, dont les poids dans le vide étaient égaux et qui étaient de volumes divers. L'auteur a préparé deux corps en verre ayant les volumes suivants: le premier — $V = 616,684 \text{ ml} + 0,01541 (t - 18) \text{ ml}$, le second — $v = 19,994 \text{ ml} + 0,00050 (t - 18) \text{ ml}$. Si la différence entre les poids de ces deux corps dans l'air est égale à a , le poids spécifique de cet air est égal à $\sigma = \frac{a}{V - v}$.

Les résultats des déterminations du poids spécifique de l'air par la méthode ci-dessus sont d'accord avec ceux qu'on obtient par la méthode „météorologique“ (calcul au moyen d'une formule bien connue d'après les indications du thermomètre, baromètre, psychromètre), mais la méthode proposée peut être préférable vu qu'elle est plus simple et qu'elle a moins d'erreurs que la méthode météorologique.

N. I. Adamovitch. La demisagène en platine iridié P 4	10—40
--	-------

I. Forme et dimensions de la demisagène	10
---	----

La demisagène en platine iridié de la Chambre Centrale des Poids et Mesures est construite par la maison anglaise Johnson—Matthey et C. en même alliage qui était employé pour la construction du Mètre International et des étalons nationaux. Elle a une section en forme de X de la même dimension que celle du Mètre International.

II. Système des traits	11
----------------------------------	----

Sur le plan neutre de la règle furent tracés des traits de divisions de deux systèmes — anglais et métrique, en 1894 (par le constructeur en physique Simms à Londres). Les traits du premier système (représentés dans la planche par des lignes vertes) sont allongés d'un côté de l'axe de la mesure (par en haut), et les traits du deuxième (représentés dans la table par des lignes rouges) sont allongés du côté opposé. Les deux systèmes à traits ont le même point de départ. Le système anglais est rapporté aux $16^{\text{e}}/3^{\text{e}}$ de l'échelle centigrade du thermomètre à l'hydrogène et contient des divisions d'inch en inch jusqu'à 42 inches. Dans les intervalles de la règle où se terminent. 1. la longueur de l'archine (0—28) inches. 2. la longueur du yard (0—35) inches. 3. la longueur du mètre (0—39,37) inches. 4. la longueur de la demi-sagène (0—42) inches sont traces de subdivisions plus petites: 1) l'intervalle de deux inches 27 à 29 inches est divisé en dixièmes d'inch, 2) l'intervalle de 27,9 à 28,1 inches est divisé en centièmes d'inch, 3) l'intervalle de deux inches 36 à 37 inches est divisé en dixièmes, 4) l'intervalle de 35,9 à 36,1 inches est divisé en centièmes, 5) l'intervalle de 39 à 40 inches est divisé en dixièmes, 6) l'intervalle de 39,3 à 39,4 inches est divisé en centièmes, 7) l'intervalle de 41 à 42,1 inches est divisé en dixièmes, 8) l'intervalle de 41,9 à 42,1 inches est divisé en centièmes.

L'échelle anglaise contient en tout 163 traits.

Le système des traits métriques contient:

1. tous les décimètres entiers, du 0 à 10; 2. les subdivisions en quarts d'un mètre; 3. les subdivisions $\frac{1}{8}$ dm, $\frac{3}{8}$ dm, $\frac{5}{8}$ dm, $\frac{7}{8}$ dm, $\frac{9}{8}$ dm, $\frac{11}{8}$ dm, $\frac{13}{8}$ dm et $\frac{15}{8}$ dm; 4. les centimètres de 70 à 75 cm; 5. les millimètres de 710 à 720 mm; 6. les centimètres de 90 à 100 cm; 7. les millimètres de 910 à 920 mm; 8. les millimètres de 990 à 1010 mm; 9. les centimètres de 101 à 107 cm; 10. les millimètres de 1060 à 1070 mm;

L'échelle métrique contient 90 traits, dont quelques-uns coïncident avec les traits de l'échelle anglaise.

Sur la première surface extérieure de la règle se trouve aussi l'ensemble identique des traits (249 traits en tout). Quant à la 5-me surface plane, elle ne contient qu'une seule échelle métrique avec 1098 traits.

	Pages
III. Comparateur	15
L'étude de la demi-sagène en platine iridié a été faite en 1896 — 1898 à la Chambre Centrale des poids et mesures par MM. F. Blumbach et N. Adamovitch à l'aide d'un comparateur, acquis chez la maison Troughton et Simms en 1877. On y a employé les microscopes, munis d'objectifs français de Gautier ayant une ouverture numérique un peu moindre que 0,1. En 1910 les objectifs de Gautier furent remplacés par des objectifs anglais de C. Beck.	
IV. L'échelle métrique de la demi-sagène en platine iridié	18
La longueur du mètre symétrique, renfermée entre les traits $\frac{1}{3}$ dm et $10\frac{1}{3}$ dm, fut comparée avec le Mètre No. 28, appartenant à la Chambre Centrale des poids et mesures. On a constaté que le Mètre symétrique ($\frac{1}{3}$ dm — $10\frac{1}{3}$ dm) = 1 m — 4,7 μ .	
V. L'échelle anglaise de la demi-sagène en platine iridié	27
La longueur du yard symétrique, (3—39) inches fut comparée avec l'Imperial Standard Yard No. I, à Londres en 1895 par Mrs. Chaney, Mandéléeff, Blumbach et Stansfield. Le yard symétrique (3—39) inches = 1 yard — 9,1 μ .	
VI. Coefficient de la dilatation du mètre symétrique ($\frac{1}{3}$ — $10\frac{1}{3}$) dm	30
Le coefficient de la dilatation de la règle fut déterminé en 1898 par les comparaisons du mètre symétrique sur la demi-sagène avec le Mètre No 28 entre 0°, 092 et 37°, 885, en employant les thermomètres Tonnelot No. 4313 et No. 4314 pour la demi-sagène et les thermomètres de Baudin No. 13881 et No. 13882 pour le Mètre No. 28. Ce coefficient fut trouvé égal à : $\alpha = 10^{-9}$ (8,540 + 3,40 T).	
VII. Le rapport entre l'archine et le mètre et entre le yard et le mètre	34

En se basant sur les données obtenues par le calibrage des décimètres, tracés sur la demi-sagène, on a déterminé la longueur de l'intervalle (0 — 7) dm, qui fut utilisé pour exprimer l'archine en échelle métrique. On a dû mesurer pour cela l'intervalle sur la demi-sagène, renfermé entre deux traits, dont l'un marque 7 décimètres et l'autre — 28 inches. Pour exécuter le mesurage de l'intervalle indiqué, on s'est servi d'un décimètre No. 40 en invar qui a été étudié par le Bureau International des poids et mesures. La demi-sagène en platine iridiée et le décimètre en invar No. 40 furent placés dans le comparateur de manière à ce qu'on put observer dans le microscope gauche le trait du sept centième millimètre sur la demi-sagène en même temps que dans le microscope droit — le trait du neuvième millimètre sur la règle No. 40. En déplaçant longitudinalement l'auge du comparateur de onze millimètres, on pourrait observer dans le microscope gauche sur la demi-sagène un trait, correspondant à 28 inches, et dans le microscope droit sur la règle No. 40 — le trait du vingtième millimètre. En réduisant les deux intervalles mesurés à la température de 16 $\frac{2}{3}$ ° C. (62° F.), on a déterminé que la longueur des 28 inches correspond aux 711,1997 mm ou, en arrondissant, aux 711,200 mm.

On a déterminé d'une façon analogue le rapport du yard au mètre. A l'aide de la même règle No. 40 on a mesuré sur la demi-sagène la distance, renfermée entre les traits du 36-e inch et le trait du 10-e décimètre. Après avoir mesuré l'intervalle indiqué, on a trouvé que

$$1 \text{ yard} = 0,91439992 \text{ mètre.}$$

Par la détermination du Bureau International des poids et mesures (Travaux et Mémoires, t. XII p. 24)

$$1 \text{ yard} = 0,9143992 \text{ mètre.}$$

Par conséquent la longueur du yard, obtenue par la Chambre Centrale des poids et mesures ne diffère de la longueur, déterminée par le Bureau International que de 0,7 microns seulement. Quoique cette différence semble être d'une valeur inférieure que les erreurs personnelles, qui peuvent avoir lieu chez les différents observateurs vu l'épaisseur considérable des traits de division (environ 20 microns), déterminant la longueur de l'Imperial Standard Yard No. I, cependant le rapport du yard au mètre déterminé par la Chambre Centrale des poids et mesures, doit être considérée comme plus probable, puisque la méthode employée par le Bureau International pour la détermination de ce rapport fut plus compliquée et introduisait les erreurs des comparaisons intermédiaires (Parliamentary Copy No. VI et Yard No. 12).

La question de la légalisation du rapport du yard au mètre s'élève en 1885 après la restauration des prototypes anglais, détruits par l'incendie des édifices du Parlement en 1834. Puisque le yard No. I conformément à la loi de 1853 (An act for legalizing and preserving the restored standards of Weights and Measures 30 th July 1855) ne peut être exporté hors de Londres, pour la détermination du rapport du yard au mètre, on a fait en 1878 un yard, marqué P. C. VI (Parliamentary Copy VI). Celui-ci fut comparé plusieurs fois avec l'Imperial Standard Yard No. I, et on a trouvé que la longueur de P. C. VI ne reste pas constante,

$$\text{en 1886 P. C. VI} = \text{No. 1} - 0,09 \text{ microns}$$

$$\text{en 1892 P. C. VI} = \text{No. 1} - 2,96 \quad "$$

$$\text{en 1894 P. C. VI} = \text{No. 1} - 3,62 \quad "$$

La dernière série des mesures fut faite par MM. Chaney, Blumbach, Read et Stansfield. Pour le contrôle on a utilisé un yard No. 12, construit à l'époque de la restauration des prototypes anglais. Le yard No. 12 fut aussi comparé par les mêmes quatre observateurs avec l'Imperial Standard Yard No. I et P. C. No. VI à Londres.

Il faut mentionner que le Bureau International des poids et mesures par l'établissement de l'étalon de 4 mètres de l'Institut Géodésique d'Espagne, trouva en même temps

la valeur du yard égale à 0,914400 mètre, c'est-à-dire la valeur qui était donnée par la Chambre Centrale des poids et mesures (Travaux et Mémoires du Bureau International des poids et mesures, t. XII p. 25).

Le rapport du yard au mètre, trouvé par la Chambre Centrale des poids et mesures, est légalisé par la loi russe du 3 juillet 1916, par conséquent un inch est pris égal à 25,400 mm et une archine

$$\frac{0,914400.28}{36} = 0,711200 \text{ mètre}$$

La longueur de l'archine symétrique renfermé entre le 7-e et 35-e pouces sur la demi-sagène, fut transférée en 1894 par le constructeur en physique Simms sur trois règles en platine iridiée No. 39, No. 40 et No. 42, desquelles la règle No. 40 à la température de 17°, était égale précisément à 28 inches, c'est pourquoi cette règle est reconnue par la loi du 4 juin 1899 comme prototype de l'archine.

Conclusion 39

La demi-sagène en platine iridiée sert d'étalon de premier ordre, d'après lequel sont comparées tous les étalons géodésiques, appartenant au Corps des Topographes Militaires, ainsi que les étalons des autres institutions de l'Etat.

Comme conclusion on donne un résumé des résultats fondamentaux des recherches sur la demi-sagène de platine iridiée (page 40).

N. C. Preipitch. Etablissement et maintien de l'heure exacte 41—119

Chapitre I. Laboratoire de l'Heure et son outillage 41

§ 1. Problèmes du laboratoire. Le laboratoire de l'heure assure l'unité de temps à la Chambre Centrale. Dans ce but on effectue des observations astronomiques régulières et on étudie les pendules, comme des appareils conservant l'heure. Outre cela on compare les observations de la Chambre Centrale avec les données des autres observatoires, par le moyen de réception des radio signaux de l'heure.

§ 2. Les pendules garde-temps du Laboratoire. Le laboratoire se sert de quatre pendules de Riefler: No. 67, 68, 81 et 86. No. 67 et 81 à temps sidéral No. 68 et 86 à temps moyen No. 67 et 86 marchent sous densité constante de l'air, No. 68 et 81 provisoirement sont sous la pression atmosphérique.

Leurs symboles sont: R* \odot , R \odot ss, R* \odot et R \odot ss.

§ 3. Le montage des pendules garde-temps. Les pendules sont fixées dans un sous-sol (fig. 1). Les variations annuelles de la température (fig. 3) ne dépassent 3 $\frac{1}{2}$ ° C, les variations journalières ne sont pas sensibles.

§ 4. Les pendules auxiliaires du Laboratoire. Le laboratoire possède des pendules auxiliaires: 1) Neher & S.; pendule No. 149; moyenne; symbole M \odot . 2) Hahwi No. 31, pendule à mercure; symbole H \odot 3) Pendule Neher & S. Pendule No. 362; moyenne; la pendule commande le réseau des cadrans électriques; symbole B \odot 4) Strasser & Rohde No. 280, pendule de Strasser; sidérale symbole S R* 5) Riefler No. 107. Pendule No. 390; symbole R* \odot .

Toutes ces pendules marchent sous la pression atmosphérique.

§ 5. Observatoire astronomique. L'observatoire se trouve dans un tour du second bâtiment de la Chambre Centrale (à la hauteur d'environ 30 m). Il s'y trouve un petit réfracteur de Cook (108 mm) et une lunette méridienne de Bamberg No. 8462, pourvue d'un micromètre impersonnel. Ce dernier sert à la détermination de l'heure.

Données caractéristiques de la lunette méridienne:

L'ouverture de l'objectif	89 mm
Distance focale	900 mm
Grossissement	120 fois
Valeur d'un tour du micromètre impersonnel	7,59
Valeur d'une division du niveau suspendu	0,0694

Les coordonnées de l'Observatoire,

$$\lambda = 2^{\text{h}} 01^{\text{m}} 16,0^{\text{s}} \text{ OE (de Greenwich)}$$

$$\varphi = 59^{\circ} 55' 5'' \text{ N}$$

Les signaux du micromètre sont enregistrés sur le chronographe Hipp qui se trouve dans le bâtiment principal. La fig. 4 montre le schéma de l'arrangement du condensateur C et du téléphone T qui servent au contrôle du fonctionnement régulier du chronographe.

§ 6. Tableau distributif. Le chronographe Hipp (longueur de la seconde 34 mm) est desservi par le tableau distributif, dont le schéma est montré sur la fig. 5. Ce tableau est construit d'après le principe de la séparation des circuits des électroaimants de chaque plume.

Les circuits des pendules et des différents appareils sont réunis aux bornes extérieures des commutateurs I et IV.

Les circuits primaires et secondaires des deux relais sont réunis aux bornes extérieures des commutateurs II et V, III et VI. Les bornes C₁ et C₂ des commutateurs III et VI servent pour connexion des deux bobines des plumes du chronographe. Les commutateurs VII et VIII servent à changer de 6 à 12 volts et de 6 à 8 volts la force électromotrice des batteries alimentant les bobines du chronographe. Le reste des bornes des commutateurs III et VI est joint aux conduits qui mènent dans différents laboratoires de la Chambre Centrale.

Enfin les prises de courant 1,2,3,4 permettent de mesurer la force du courant dans le circuit voulu.

Chapitre II. Méthode de la détermination des corrections des pendules

§ 7. Principes fondamentaux. Le paragraphe expose quelques principes de l'astronomie sphérique et pratique, sur lesquels est basée la détermination de l'heure. La formule (1), où t est le moment vrai, p est l'indication des pendules, détermine la correction „ u “, et (2) détermine g —la marche de l'horloge. Les formules (3) et (4) représentent la connexion entre l'heure sidérale, l'angle horaire t de l'étoile et son ascension droite. Cette formule est remplacée par la formule (5) pour l'étoile qui se trouve dans le méridien. La Chambre Centrale se sert du catalogue de L. Boss pour le calcul des coordonnées des étoiles observées.

§ 8. La formule de Tobias Mayer. Dans cette formule les notations suivantes sont employées: d —l'ascension droite apparente de l'étoile, T —le moment de passage noté par la pendule de charge, i —l'inclinaison, a —l'azimut de l'instrument, l —la latitude de l'observatoire, δ —la déclinaison de l'étoile.

§ 9. Détermination des coordonnées des étoiles et des moments observés de passage. En calculant d on prend en considération les termes de nutation de la courte période et toutes les étoiles sont ramenées au système du catalogue de Boss.

Chaque étoile est observée dans deux positions de l'instrument. Pour les étoiles de l'heure ayant $\delta < 68^\circ$, on a 10 paires de signaux enregistrés du micromètre impersonnel. Les lectures se font à la fin du signal (ouverture du courant). Le moment trouvé est réduit au centre du contact d'après la formule (7).

Pour les étoiles circumpolaires ($\delta > 80^\circ$) on note 10—15 paires de signaux, on lit l'origine du signal (fermeture du courant) ainsi que la fin du signal. Le moment trouvé est corrigé d'après la formule (8). Cette correction est obtenue d'après les données de la table I, contenant les résultats de la comparaison de longueur mesurée du contact, a) d'après le ruban du chronographe, b) d'après le micromètre même. Dans ces déterminations on se sert de R_{67} , comme pendule.

§ 10. Détermination des erreurs instrumentales. On écrit pour chaque étoile de l'heure une équation de forme

$$U + A_1 a = b_1.$$

Il y a n de pareilles équations pour les étoiles de l'heure et j pour les étoiles circumpolaires. Ayant formé pour toutes les étoiles de l'heure l'équation (9), on obtient l'azimut a , en combinant cette équation avec les équations des étoiles circumpolaires. La valeur la plus vraisemblable de tous ces $j+1$ azimuts se place dans les équations des étoiles de l'heure et on obtient n valeurs différentes de la correction des pendules, dont on prend ensuite la moyenne.

§ 11. Les facteurs qui influent sur l'exactitude de la détermination de la correction des pendules. La formule obtenue montre que l'erreur moyenne de la correction E diminue avec l'augmentation du nombre n des étoiles de l'heure, augmente avec les déclinaisons des étoiles observées, décroît avec la diminution de l'erreur de la détermination de l'azimut et croît enfin avec l'augmentation du coefficient moyen de l'azimut de toutes les étoiles observées. L'erreur de la détermination de l'azimut provoque une erreur systématique dans la correction de la pendule U , c'est pour cela qu'il faut tâcher de faire $A_m = 0$.

§ 12. Catalogue de la lunette méridienne de la Chambre Centrale. Vu le manque d'étoiles de l'heure convenables, les déductions du paragraphe précédent ne peuvent être entièrement appliquées à la formation du programme d'observation. C'est pour cette raison que dans le catalogue de la lunette méridienne (près de 400 étoiles) sont introduites en qualité d'étoiles de l'heure les étoiles ayant la déclinaison de $\delta > 20^\circ$ jusqu'au $\delta < 68^\circ$. La limite établie pour les étoiles circumpolaires est $\delta > 80^\circ$.

Le programme d'une détermination complète de l'heure se compose de 10—12 étoiles de l'heure et de 3—4 étoiles circumpolaires.

Chapitre III. Méthode de la comparaison des pendules 53

§ 13. But de la comparaison des pendules. La comparaison des pendules se fait pour le contrôle réciproque des indications de tout l'ensemble des pendules et sert à obtenir les corrections les plus probables dans les moments intermédiaires entre les observations astronomiques pour l'interpolation de la correction des pendules.

§ 14. Mode de la comparaison des pendules. Les comparaisons se font à peu près au moment du midi moyen local (10^h OG T.M. civ) et débutent par l'inscription de la température, amplitude, etc.). Les pendules sont insérées dans les circuits du chronographe Hipp, sans relais intermédiaire, la pendule R_{67}^* enregistre tout le temps avec la première plume du chronographe, toutes les autres enregistrent à tour de rôle avec la seconde.

Pour déterminer le parallaxé des plumes, on fait une comparaison supplémentaire, en faisant R_{67} enregistrer avec la seconde plume et une des pendules (ordinairement R_{61}^*) avec la première.

Les erreurs des pendules ayant la période d'une minute sont exclues par la lecture des secondes bien déterminées de chaque pendule, l'influence de ces erreurs pour la pendule R_{67}^* est annulée par l'introduction de corrections convenables. (Table III).

§ 15. Traitement des résultats de comparaison. Le traitement commence par le calcul d'après la formule (11) de la correction C pour le parallaxé des plumes du chronographe. La déduction de cette formule est évidente d'après la fig. 6. La table III montre l'exemple d'une comparaison des pendules. Dans la partie supérieure se trouvent 10 lectures d'après le chronogramme, faites pour chaque pendule.

Les lignes suivantes contiennent: la première—la moyenne de toutes les lectures, la seconde—la correction du parallaxé des plumes, la troisième—la correction de la période d'une minute, la quatrième—les lectures corrigées, la cinquième—la différence de l'indication des pendules, la

sixième la réduction à $12^h 0^m 0^s$ de l'heure moyenne locale (civile), la septième la différence définitive de l'indication des pendules. L'erreur moyenne de la comparaison des pendules est évaluée à $0,0005$.

Chapitre IV. Recherches sur les pendules durant la période Octobre 1921— Décembre 1922 57

§ 16. Les corrections de la pendule R_{67} et les conditions moyennes de leur travail. Pendant cet intervalle de temps, le mode d'observation a quelque peu varié. Les observations les plus importantes à noter depuis IV. 20. 922 jusqu'à la fin (autre X. 23) sont produites par la registration à l'aide de la clef Morse et les coordonnées des étoiles de l'heure sont fondées sur le catalogue Auwers. La température moyenne des pendules et des autres facteurs variables de leur travail se déterminent par la formule (12) où A'_m est la valeur moyenne de la grandeur à déterminer pour tout l'intervalle entre deux observations astronomiques, a'_i — la valeur moyenne pour chaque jour complet pendant cet intervalle, a'_0 et a'_{n+1} — les valeurs moyennes pour les intervalles [entre l'observation précédente et le midi le plus proche et entre le dernier midi] et l'observation suivante, K_0 et K_{n+1} — les longueurs de ces intervalles, en fractions du jour. Les données des observations se trouvent dans la table IV. Contenu des colonnes diverses: Le moment moyen local (civile), le nombre des étoiles circumpolaires de l'heure, le poids de la correction des pendules R_{67}^* , la marche moyenne diurne, la température moyenne, la stratification moyenne de la température, l'amplitude moyenne, le poids de la marche.

§ 17. Recherche des marches absolues des pendules d'après la méthode de B. Wanach. La différence de deux marches contigües a été représentée par la formule (13), où ξ_g , ξ_T , ξ_θ , ξ_A , dt — sont respectivement la variation de la marche moyenne, de la température, de la stratification de température, de l'amplitude et de l'heure, α , ν , γ et T — les coefficients recherchés.

La table V contient les coefficients des équations de condition. Elle est obtenue d'après la table IV, à l'exclusion de la marche $+0,0058$, dont le poids est trop faible.

Le poids des équations de condition a été calculé d'après la même formule insérée qui donne le carré de l'erreur moyenne de la différence de deux marches contigües (a et b sont le nombre des jours écoulés entre les 1^o, 2^o et 2^o et 3^o corrections; P_1 , P_2 et P_3 — leur poids, V_m — la déviation moyenne carrée des marches détachées de la marche moyenne générale.)

Les équations normales obtenues ont été résolues partant de cinq suppositions différentes sur le caractère de l'influence de différents facteurs sur la marche des pendules. Ces résultats sont représentés par les formules 14, 15, 16, 17 et 18, dont la formule 17 est reconnue comme la meilleure. Partout, ainsi que plus loin on a introduit les erreurs moyennes; γ est l'erreur de l'unité du poids.

En partant de la formule (17) on trouve ensuite V_m — variation moyenne de la marche et δ — variation diurne d'après Wanach.

Outre la méthode de B. Wanach on a employé la méthode de l'égalisation des marches mêmes, c'est à dire qu'on a cherché la dépendance d'après formule (19); ici g — c'est la marche moyenne des pendules, g_0 — la marche dans les conditions initiales, T la température, O — la stratification de la température, $J. D.$ — l'époque de la marche moyenne.

Les équations normales ont été résolues en trois suppositions. Ces résultats sont exprimés par les formules (20), (21) et (22). La formule 21 est acceptée comme le résultat le plus vraisemblable de toute la recherche. Les grandeurs V_m et δ , déduites d'après la formule (21), sont données ensuite.

La formule (21) a été appliquée pour l'extrapolation des corrections. Comme le montre la table VI, les différences entre les corrections observées et extrapolées pendant tout un mois, ne dépassent pas $\pm 0,008$.

§ 18. Notes préliminaires sur „le coefficient barométrique“ des pendules. Les variations des pendules, exposées à l'influence de la pression atmosphérique, sont acceptées proportionnelles à la variation de la densité de l'air, et comme la densité de ce dernier s'exprime par la formule (23), les variations des marches sont proportionnelles à la variation de la grandeur P , établie par la formule (24). Les notations sont des suivantes.

D — densité de l'air, H — pression barométrique réduite à 0° , e — humidité, $\gamma = 1,273$ coefficient de dilatation de l'air, T — température.

$\frac{dg}{dP}$ est le „coefficient de densité“ — coefficient qui exprime les variations des marches des pendules en fonction des variations de la densité de l'air, $\frac{dg}{dH}$ — „coefficient barométrique“ — variation de la marche de pendule en fonction des variations seules de pression; $\frac{dA}{dP}$ et $\frac{dA}{dH}$ sont les mêmes coefficients pour les amplitudes du pendule; g_P et g_H — les marches réduites aux valeurs initiales des grandeurs P et H ; $\frac{dg_P}{dt}$ et $\frac{dg_H}{dt}$ — les coefficients de température respectifs. Les formules (25) . . . (30) établissent la dépendance entre ces coefficients.

§ 19. Détermination du coefficient de la densité d'après marches relatives. Dans ce but on se sert des marches relatives des pendules dont l'une marche à densité constante de l'air.

La formule (31) lie la variation Δg de la marche relative à la variation ΔP ; B — est le coefficient recherché, δ_1 et δ_2 — sont les variations accidentelles des marches des pendules comparées, qui nous sont inconnues.

La valeur moyenne pour les données de la pression barométrique, nécessaire pour déterminer la grandeur P —est obtenue à l'aide du barographe, comparé quotidiennement avec le baromètre mercuriel.

On suppose entre les indications H du baromètre mercuriel et B —du barographe, la relation (32).

Pour le calcul de la valeur moyenne de la grandeur H , d'après la valeur moyenne diurne de la grandeur B , on se sert de la formule (33); l'interprétation géométrique de cette formule est reproduite sur la fig. 7.

La grandeur B est calculée d'après cinq lectures du barogramme, se rapportant à 16^h , 20^h , 0^h , 4^h et 8^h , par la formule du trapèze.

Le schéma de ces calculs est représenté dans la table VII.

Les formules placées après la table VII, montrent la marche ultérieure du calcul (η —l'erreur moyenne de l'unité du poids; E_p —l'erreur moyenne du coefficient de la densité).

La table VIII montre les résultats de l'application de ces formules à l'étude des pendules R_{21}^* , R_{21}^{\odot} et H_{21}^{\odot} . Il faut remarquer que dans la table sont données les coefficients barométriques. Les grandeurs, trouvées pour différentes pendules, donnent la possibilité d'établir les limites des variations des valeurs de la grandeur $\frac{1}{2}$ (variation diurne dans le sens de B. Wanach) et de E (erreur moyenne d'une comparaison des pendules.)

§ 20. Remarques préalables sur la question de la température moyenne des pendules. On a étudié le cas de la stratification considérable de la température dans les pendules et du gradient de la température variable suivant la hauteur.

Il a été supposé que les températures de l'air à différentes hauteurs, s'exprime par la formule (35), où T_h et T_0 sont les températures sur les hauteurs h et 0 , x et y —coefficients inconnus.

Si trois thermomètres sont placés dans les pendules sur les hauteurs $2, 1, 1$ et 0 et leurs indications sont T_1 , T_2 et T_3 , la solution donne à l'équation de la parabole (36).

La loi de la distribution des températures dans le milieu ambiant de la pendule, ainsi que dans la pendule même, acceptée par nous, mène à une conclusion suivante.

La température moyenne T_0 , déterminant la densité du milieu ambiant pour les pendules Rieffler du type J avec le poids cylindrique, se détermine par les formules (38)...(42). Ces formules sont obtenues d'après la considération que le poids de l'air dans le volume de la pendule doit être égal dans la distribution des températures existant réellement, et à la température uniforme T_0 .

En supposant comme l'approximation première, que le pendule Rieffler est mathématique, nous obtenons les formules (45) et (46), qui expriment sa longueur en fonction de la température des pendules et de sa variation suivant la hauteur.

Dans ces formules on emploie les notations: l —longueur totale du pendule, T —température moyenne déterminant cette longueur, α_1 , L_1 , θ_1 et α_2 , L_2 , θ_2 —respectivement les coefficients de la température, les longueurs et les températures moyennes du tube compensationnel et de la barre du pendule.

Les formules (44), (45) et (46) montrent: que le second membre proportionnel à θ_2 ou à θ_1 , escompte l'inexactitude de la compensation, c'est-à-dire représente l'influence du coefficient de température du pendule, le troisième membre est proportionnel à $(\theta_2 - \theta_1)$ et escompte la stratification de la température, outre cela on fait les déductions: 1) le pendule a deux coefficients différents de la stratification de température suivant la méthode de détermination de la température moyenne du pendule 2). Ces deux coefficients deviennent égaux, si le pendule est compensé idéalement, 3) Le coefficient de la stratification de température est le résultat de la compensation (comme dans ce cas $L_1 = 0$).

§ 21. Recherches des coefficients de température d'après les marches relatives. La pendule R_{21}^* qui se trouvait dans ce temps dans le sous-sol 2, a été étudiée. Les températures moyennes T_p , T_m et T_k (de l'air, du pendule et du tube compensationnel) s'expriment par les formules (47). On a supposé d'abord que $T_k - T_p$; nous escomptons plus loin l'influence de cette inexactitude. En tout on a utilisé trois séries d'observations, insérées dans les tables IX, X et XI. Ces calculs ont abouti à trois formules (48), (49) et (50). La formule (51) donne le passage au coefficient de la stratification de température, déterminé par la formule (45). La table XII résume toutes les déterminations de θ .

On a obtenu pour le coefficient de la stratification de température la valeur $+0,0592$ en cas de gradient de température constant et à la distance de 866 mm entre les thermomètres.

Un examen analogue a été effectué pour le chronomètre Ericson No. 959. Les résultats de l'observation sont donnés dans la table XIII (séparément pour deux observateurs). On a trouvé la formule exprimant la marche en fonction de la température et du temps.

Chapitre Y. Recherches des pendules durant 1923 76

§ 22. Influence de la densité sur la marche des pendules et l'amplitude de la pendule. Pour la détermination de ces coefficients on s'est servi partout de la méthode Wanach, c'est-à-dire que les différences des marches et des amplitudes ainsi que les facteurs qui influent sur elles, ont été soumis à la recherche. Les coefficients de densité obtenus sont représentés dans la table XIV. La table XV résume toutes les déterminations de l'influence de la densité de l'air sur l'amplitude de la pendule.

§ 23. Influence de la température sur la marche des pendules. Ce paragraphe contient les résultats de toutes les déterminations des coefficients de température de l'amplitude (table XVII). Les résultats obtenus ne peuvent être considérés que comme la première approximation grossière.

§ 24. Influence de l'amplitude sur la marche des pendules.

§ 25. Variations des marches des pendules. On a déterminé la variation moyenne de la marche pendant 1 jours—d'après les formules de B. Wanach, ainsi que V —la déviation

moyenne des marches moyennes des jours de la marche moyenne générale des pendules. La stratification de température dans ces pendules variait dans le cours de l'année de 0°08, à 0°27.

Chapitre VI. Interpolations des corrections des pendules pour la période décembre 1922 — décembre 1923

83

§ 26. Remarques préliminaires. Les corrections jusqu'au 22, 11, 923 inclusivement sont exécutées par l'observateur Preipitch (II) à l'aide de touches, les autres à l'aide du micromètre impersonnel depuis qu'un second observateur B. I. Rak (P) commence à y prendre part. Les corrections des pendules faites jusqu'au 22, 11, 1923 inclusivement, sont réduites au micromètre impersonnel à l'aide de l'équation (59). Les données de cette réduction, sont notées sur la table XVIII. Les observations ont montré pour les deux observateurs l'existence de différences systématiques entre les azimuts, déterminés par des culminations supérieures (a p) et inférieures (a sp) des étoiles circumpolaires et des étoiles de l'heure. Les données sont représentées dans la table XIX.

La table XX présente pour les deux observateurs et pour tous les modes d'observation (aux touches, aux micromètres à la paire de reticules, aux micromètres au fil ordinaire) des réductions au système uniforme de l'azimut du nord.

$$a_N = \frac{1}{2} (a_p + a_{sp})$$

On donne ensuite les erreurs moyennes d'une détermination de l'azimut et de la détermination d'une correction par une étoile de l'heure. L'erreur moyenne d'une détermination complète de l'heure est calculée d'après les données de la formule à la fin de ce paragraphe.

§ 27. La formule pour l'interpolation des corrections des pendules R_{67} durant la période décembre 1922 — mars 1923. Après avoir été corrigées de l'équation personnelle (d'après la formule 59) les corrections observées ont été représentées par l'équation (60), où U et U_0 sont les corrections observées et initiales, G_0 — la marche initiale, t — l'heure, α — le coefficient de température et K_α — l'intégrale de température. La formule (61) a été le résultat des calculs. Les observations mêmes et les comparaisons des observations avec les valeurs calculées d'après la formule (61) sont représentées dans les tables XXI et XXII.

La marche systématique des erreurs résiduelles est évidente; ainsi, en exprimant les erreurs résiduelles à l'aide du graphique nous obtenons un membre supplémentaire à la formule (61). Le résultat de l'interpolation est donné dans la table XXIII.

§ 28. Méthode de l'interpolation des corrections des pendules durant la période mars — décembre 1923. Le précédent § 27 confirme que les corrections même des pendules de premier ordre ne peuvent être exprimées analytiquement durant un intervalle considérable, et que la partie de la marche G_0 , prise par nous pour une grandeur constante, est en réalité une certaine fonction de l'heure t, et qu'il est plus juste de la désigner par Gt.

Supposons que durant un court intervalle la fonction Gt varie d'une manière monotone. Un pareil caractère de variation est à supposer vu les différences systématiques entre les corrections observées et calculées, notées dans le paragraphe précédent.

Prenons un groupe d'un petit nombre, de corrections placées côte à côte (mais tout de même supérieur au nombre d'inconnues s, 1b à 3) et essayons de les représenter par une formule de forme:

$$U_i = U_0 + G'_0 (t - t_0) + \alpha' K_\alpha \dots \dots \dots (62)$$

la solution nous donnera des valeurs U_0 , G'_0 et α' qui sont en général, éloignées des valeurs vraies, cependant, expriment assez bien les corrections prises par nous; les erreurs résiduelles peuvent être prises pour des erreurs d'observation.

Comme l'intégrale de température K_α est aussi une certaine fonction du temps et varie durant un court intervalle en général, aussi d'une manière monotone la valeur trouvée dépendra dans sa partie considérable de la conduite de la fonction durant l'intervalle donné et représente aussi ses variations.

Trouvons, à l'aide de G'_0 et de α' la valeur de la marche G_T , t_α qui correspond à la température moyenne de l'intervalle pris par nous; évidemment que, d'un autre côté cette valeur peut être supposée l'égal à la valeur moyenne de la fonction plus l'influence de la température, c'est-à-dire

$$G_{T_1} = G_t + \alpha \cdot T_1$$

La dernière formule nous permet de déterminer la valeur G_{T_1} . Faisons la même opération pour un nouveau groupe, composé de toutes les corrections du groupe précédent, sauf la première, et d'une correction qui le suit. En agissant de cette manière pour toute la série de corrections données, nous trouverons quelques valeurs séparées des erreurs d'observation et toute une série de valeurs séparées de G_t et de α' . De là, nous trouverons la valeur α , la plus vraisemblable. En même temps que ceci nous trouverons toute une série de marches compensées G_{T_1} qui se rapportent aux températures moyennes et aux moments moyens des intervalles pris. En traçant un diagramme d'après ces données, nous obtiendrons la courbe de la marche G_{T_1} qui donne pour chaque jour la valeur la plus vraisemblable de la marche. Au lieu de ce diagramme on peut tracer aussi le diagramme de la fonction Gt.

La méthode qui vient d'être décrite, servait pour l'interpolation des corrections R_{67}^* et des autres pendules garde-temps, qu'on comparait à R_{67}^* . Pour chaque pendule on formait un système de corrections aux corrections observées. Ces corrections étaient groupées et on trouvait leurs valeurs, les plus vraisemblables, qui correspondent aux indications de tout l'ensemble des pendules, et on les insérait dans les corrections observées. Nous obtenons ainsi le système des valeurs les plus vraisemblables des corrections de chaque pendule.

Pour l'interpolation des valeurs d'intervalle on se sert du diagramme des fonctions G_T ou G_i , dans le dernier cas on escompte la température moyenne d'un jour donné. Les erreurs du diagramme et les variations fortuites des marches des pendules donnent lieu généralement à quelque désaccord, qu'on fait annuler par sa distribution proportionnelle sur les valeurs interpolées dans un intervalle donné.

Ce moyen a été appliqué aux corrections données dans les tables XXIII et XXIV qui ont été observées exclusivement à l'aide du micromètre impersonnel. Dans les observations de la fin de mars et du commencement d'avril 1923, on a constaté une augmentation considérable d'erreurs des observations des étoiles observées. Après avoir soigneusement inspecté la lunette méridienne, on a découvert que les erreurs étaient provoquées par la vibration de l'objectif. Ce défaut a été écarté le 17. IV. 23, ainsi la période de l'état défavorable de la lunette embrassait les corrections Nos 13-22. Ceci a été confirmé par les résultats de l'interpolation des corrections. Les modifications des corrections donnent pour l'erreur moyenne d'une détermination de l'heure les valeurs:

$$\text{Pour les corrections Nos } 6-12 \text{ et } 23-30 \quad \Sigma = \pm 0,017^s$$

$$\text{Nos } 13-22 \quad \Sigma = \pm 0,035^s$$

c'est-à-dire la précision des observations durant la période du 20. III au 13. IV a été deux fois plus basse que la normale. Mais malgré cela, grâce au grand nombre de déterminations de l'heure et de petits intervalles entre elles, la précision des corrections d'interpolation de cette période est peu inférieure à la précision des périodes avec un état normal de l'instrument.

§ 29. Application de la méthode aux pendules. Les données des observations se trouvent dans les tables XXIV et XXV, comme époque initiale on a accepté

$$t_0 = 1923, \text{ IV. } 0^d, 5.$$

Les intégrales de température sont calculées d'après les formules

$$K_T = \Sigma k (t - 15^s)$$

$$k = -1 \text{ pour } t < t_0, \quad k = 1 \text{ pour } t > t_0$$

Les intégrales barométriques ont été obtenues d'après la formule

$$K_B = \int_{t_0}^t (H - 755 \text{ mm}) dt = \Sigma k (H_m - 755)$$

où k à la même valeur que ci-dessus.

Les exemples des étapes détachées des calculs sont exposés dans les tables XXVI et XXVII.

La table XXVIII contient toutes les corrections introduites dans les corrections observées.

On a donné à la fin de l'article, dans la table XXIX, pour chaque jour de la période du 20. II jusqu'au 31. XII. 1923, les valeurs de l'intégrale barométrique, qui servait pour l'interpolation des corrections R_{88}^{\odot} et R_{81}^* , les corrections interpolées d'après toutes les pendules garde-temps, les résultats des comparaisons des pendules, la grandeur

$$S - 12^h = S_g - 12^h - 19^s,92$$

où S_g — est le temps sidéral de midi moyen de Greenwich corrections R_{87}^* , calculées à la base des corrections interpolées par R_{88}^{\odot} , R_{81}^* et R_{86}^{\odot} , les poids de diverses pendules et les corrections définitives de la pendule R_{87}^* .

Cette table représente le journal de comparaisons quotidiennes des pendules; pour calculer d'après ce journal les corrections d'une pendule d'après les corrections des autres on se sert de formules:

a) pour la pendule R_{81}^* :

$$(* - R_{87}^*) = (* - R_{81}^*) - (R_{87}^* - R_{81}^*)$$

b) pour la pendule R_{88}^{\odot} :

$$(* - R_{87}^*) = (\odot - R_{88}^{\odot}) + (S - 12^h) - (R_{87}^* - R_{88}^{\odot})$$

c) pour la pendule R_{86}^{\odot} :

$$(* - R_{87}^*) = (\odot - R_{86}^{\odot}) + (S - 12^h) - (R_{87}^* - R_{86}^{\odot})$$

Quant à l'extrapolation des corrections des pendules, elle se produisait pendant la période écoulée seulement d'après la pendule R_{87}^* . L'erreur moyenne de la correction préalable de cette pendule, obtenue de cette manière est de $\pm 0^s,16$ en cas d'extrapolation pour un intervalle de 10 jours.

On pense de remplacer dans l'avenir la méthode numérique de l'amélioration des corrections des pendules par la méthode graphique. Les expériences faites dans cette direction, ainsi que l'expérience du Bureau International de l'Heure, montrent les avantages de la méthode graphique. Pour l'étude des pendules la modification artificielle des conditions de leur travail, est le moyen le plus rationnel, et l'étude de la dépendance de la marche de la pendule de l'amplitude est le problème le plus sérieux.

I. W. Mestchersky. Recherches théoriques sur le tube manométrique 120—129

§ 1. Les travaux de Hill, Rayleigh et Worthington. Les travaux des savants cités, auxquels se rattache un article de Greenhill, qui ont paru de 1872 jusqu'à 1890, forment la première période de la théorie du tube manométrique; ils donnent l'explication de ce fait, que le tube se détorde, quand la pression intérieure augmente.

§ 2. La première formule de H. Lorentz. Les travaux de H. Lorentz forment la seconde période de la théorie du tube manométrique. Dans son premier article, qui a paru en 1910, Lorentz ne tient compte que des efforts normaux—tensions ou pressions. Dans le cas d'une section elliptique, en admettant que la forme de la section garde sa double symétrie après la déformation, il donne la formule commode pour calculer la variation de l'angle d'ouverture.

§ 3. La seconde formule de H. Lorentz. Dans son second article sur la théorie du tube manométrique, qui a paru en 1917, Lorentz tient compte non seulement des tensions ou pressions, mais aussi des efforts tranchants normaux à la surface du tube.

En supposant la double symétrie de la section transversale du tube avant et après la déformation, Lorentz arrive à la seconde formule, bien compliquée, pour la variation de l'angle d'ouverture du tube et donne l'application de sa première formule au cas réel de trois manomètres.

Pour apprécier la seconde formule et en même temps l'influence des efforts tranchants normaux à la surface du tube, il faut trouver pour constantes les expressions commodes pour le calcul approximatif qui entrent dans la formule, — ce qui est fait dans l'article présent, en supposant, que la section du tube soit elliptique à une grande excentricité ce qui a lieu dans les cas pratiques. Les calculs exécutés par N. E. Kotchine montrent, que l'influence des efforts tranchants dans ces cas est tout-à-fait insignifiante et par conséquent la seconde formule de Lorentz donne presque les mêmes résultats que la première, qui est beaucoup plus simple.

Nous voyons ainsi que la grande différence entre les valeurs expérimentales de l'angle de redressement du tube manométrique et les valeurs théoriques, que donne la première formule de Lorentz, ne peut pas être expliquée par l'action des efforts tranchants normaux à la surface; ce qui est le plus probable, c'est que l'hypothèse de Lorentz — la conservation de la double symétrie de la section du tube après la déformation, n'a pas lieu, surtout dans le cas des manomètres, qui sont destinés à mesurer des petites pressions.

M. F. Malikoff. Etalon du volt international 130—156

Pour le maintien du volt international dans la Chambre Centrale des Poids et Mesures on se sert des éléments normaux Weston préparés par A. B. Foehringer en 1910 dans le National Physical Laboratory sous la direction de F. E. Smith. La préparation des éléments normaux s'effectue selon les règles appliquées par ce Laboratoire. La force électromotrice des éléments normaux a été définie par leur comparaison avec les éléments appartenant au National Physical Laboratory et ayant pris part au travail international à Washington en 1910.

En qualité d'étalon de la force électromotrice on se sert du groupe de vingt éléments; la valeur moyenne des forces électromotrices de tous les 20 éléments formant un groupe, s'est trouvée égale à 1,01830 volts internationaux. Dans le tableau 1 se trouvent des données, se rapportant à la préparation des éléments Weston normaux, entrés dans le groupe des étalons et les résultats des observations, effectuées sur les éléments de 1910 à 1925. La première colonne du tableau contient les No. des éléments, le second — date de leur préparation. Dans la troisième colonne est indiquée la méthode de préparation du sulfate mercurique (procédé par précipitation, au moyen de l'acide sulfurique, de l'azotate mercurique), la personne qui a préparé ce sel et la date de sa préparation; dans la quatrième colonne le symbole Hg indique que pendant la préparation de nos éléments le mercure pur a été ajouté à la pâte. Dans la cinquième et sixième colonnes sont données les indications sur la composition de l'amalgame et le procédé de sa fabrication (pour les éléments No. No. 3—14 et les No. No. 28—30 — par l'échauffement du mercure et du cadmium dans le bain d'eau, pour les éléments No. No. 16—26 et No. 132—41 — par électrolyse. Dans la septième colonne est citée la résistance intérieure des éléments en ohms.

Dans les colonnes suivantes du tableau est indiquée la force électromotrice des éléments normaux à 20° C. depuis 1910 jusqu'à 1925. L'interruption dans le tableau signifie que les observations n'avaient pas lieu pendant les années 1915—1919. La comparaison des éléments normaux s'effectuait par la méthode de compensation, à laquelle sert le potentiomètre de O. Wolff, de construction ordinaire et le galvanomètre du système D'Arsonval avec la sensibilité de 4 microvolts pour 1 division de l'échelle. Le schéma des mesures est représenté sur la fig. 2, et la fig. 3 représente la vue de l'installation.

On voit d'après le tableau que la force électromotrice, du moins dans les quatre premières années après la préparation, se conserve constante dans les limites de 1/100.000 volt. Dans un grand intervalle de temps on signale le vieillissement des éléments, qui s'exprime en ce que dans certains éléments la force électromotrice varie plus vite et dans d'autres — plus lentement, principalement en diminuant. Fig. 4 donne le diagramme, qui caractérise ce vieillissement durant la période de 15 années d'existence des éléments. Dans ce cas on a pris les forces électromotrices des éléments, se rapportant à deux époques: 1910—1911 et 1924—1925, et par paires des points correspondants sont tracées les lignes droites, l'inclinaison desquelles caractérise la grandeur et le signe du changement de la force électromotrice des éléments. La divergence en éventail des droites représente

le tableau de l'état du groupe-étalon des éléments. En moyenne la force électromotrice par rapport à la moyenne arithmétique de tout le groupe des éléments, a augmenté dans les deux tiers des éléments de $-2,5 \times 10^{-5}$ du volt et est descendu à -5×10^{-5} du volt dans le tiers de reste. L'augmentation visible de la force électromotrice témoigne que le volt international, représenté par la moyenne arithmétique, a quelque peu diminué, mais cette diminution ne dépasse pas deux ou trois cent-millièmes du volt. Les observations montrent, que l'étalon du volt, représenté par un groupe de plusieurs éléments, demeure assez sûr pendant dix années. Ce terme étant écoulé, il est nécessaire de rejeter une partie des éléments, dont la force électromotrice se distingue de la moyenne plus que par $1/10.000$ volt, et les remplacer par des nouveaux avec une force électromotrice normale. Il est nécessaire de déterminer la valeur de la force électromotrice des éléments normaux au moins une fois dans 5 ans, à l'aide du voltamètre à argent.

La force électromotrice des éléments normaux, appartenant au groupe des étalons, a été déterminée au moyen du voltamètre à argent en 1910 par A. B. Foehringer et F. E. Smith au National Physical Laboratory et en 1912 par A. B. Foehringer à la Chambre Centrale. En moyenne il a été obtenu, par un voltamètre à argent, pour la force électromotrice de l'élément normal No. 7 le nombre 1,018284 du volt international à 20° C, tandis que par le groupe des étalons cette force électromotrice s'exprime par le nombre 1,01828, de volt, c'est-à-dire par le même nombre.

Le dernier travail avec le voltamètre à argent a été exécuté à la Chambre Centrale en 1915 par A. G. Goldman qui a obtenu pour la force électromotrice de l'élément No. 10 le nombre 1,01832 du volt international à 20° C., qui correspond à 1,01828 en fonction du groupe des étalons.

Les comparaisons des éléments normaux de la Chambre Centrale avec les éléments normaux des laboratoires étrangers ont été effectuées plusieurs fois au moyen des éléments normaux, transportés d'un laboratoire à l'autre. Il faut noter les comparaisons effectuées en 1914 et en 1922. Dans le premier cas quelques éléments normaux ont été comparés à la Chambre Centrale, au National Physical Laboratory, au Laboratoire Central d'Électricité et à la Physikalisch-Technische Reichsanstalt; les résultats des mesures ont montré que les forces électromotrices des éléments normaux, qui ont servi pour la comparaison, avaient en moyenne la grandeur:

à la Chambre Centrale	1,01830	volt int. à 20° C.
Au National Physical Laboratory	1,0183	"
Au Laboratoire Central d'Électricité	1,01829	"
A la P. T. Reichsanstalt	1,01828	"
A la seconde comparaison 4 éléments normaux, préparés en 1921 au National Physical Laboratory, ont été comparés en 1922 aux éléments normaux de la Physikalisch-Technische Reichsanstalt et ensuite aux éléments normaux de la Chambre Centrale. Les résultats de la comparaison ont montré que la grandeur moyenne de leur force électromotrice s'exprime:		

Au National Physical Laboratory	1,01824	volt int. à 20° C.
A la P. T. Reichsanstalt	1,01826	"
A la Chambre Centrale des poids et mesures	1,018272	"

Ceci indique que le groupe des étalons des éléments normaux de la Chambre Centrale, malgré son existence de douze ans n'a pas changé de grandeur.

L. N. Bogoiavlensky. Théorie du radiomètre et des relevés radiométriques 157—167

L'histoire des relevés radiométriques et de la radiométrie est étroitement liée avec l'histoire de la radiations pénétrante terrestre observée dans les couches inférieures de l'atmosphère. La monographie expose la théorie de l'action de la couche plate rayonnante sur un point disposé à une distance déterminée. En la développant, on peut appliquer cette théorie à l'électromètre spécial que nous avons nommé le radiomètre.

Un électroscope, dont le corps est en laiton d'une forme spéciale, représenté sur le dessin 4, est recouvert à une couche de plomb de 1 cm pour atténuer autant que possible l'effet des radiations extérieures. Une partie latérale du corps de l'appareil contient la fenêtre fermée par l'aluminium 0,3 mm d'épaisseur. Cette fenêtre d'une forme rectangulaire à l'angle d'ouverture par rapport à l'axe de l'électroscope de 90° . L'autre fenêtre avec l'aluminium, dans la partie inférieure, a une forme circulaire. La boîte de l'appareil est disposée sur un cercle gradué et peut être tournée autour de son axe vertical. L'appareil est hermétiquement clos et l'air dans l'intérieur de la chambre est desséché par le sodium métallique. Les défauts d'isolement sont supprimés par la méthode de Wilson à l'aide d'une batterie des piles normales. L'appareil ainsi construit et monté sur un support, est bien propre pour l'étude des rayonnements verticaux et horizontaux. L'étude du degré de la pénétration du rayonnement peut être effectuée à l'aide des filtres en plomb absorbants convenables qui peuvent être placés au-dessus de la fenêtre dans le cas des rayonnements verticaux et à l'aide d'un filtre latéral dans le cas des rayonnements horizontaux.

Si on place devant l'appareil sur le même niveau une ampoule avec le radium et on commence à faire les mesures tout en déplaçant l'axe horizontal de l'appareil de $5^\circ - 10^\circ$ la fenêtre latérale étant ouverte, nous obtiendrons le maximum de l'intensité dans la position, où le rayonnement du radium devient normal à la surface de la fenêtre latérale. Cette position de l'appareil donne l'idée sur la direction qu'on peut suivre pour trouver un corps rayonnant.

Si le radium est posé sur la surface de la terre, la fenêtre latérale étant fermée, tout en déplaçant l'appareil nous obtiendrons le maximum de l'intensité dans le cas si le radium se trouve sur le prolongement de l'axe verticale de l'appareil. Cette position de l'appareil donne l'idée sur l'endroit où gise le corps rayonnant.

Le mémoire, tout en se basant sur le théorème connu de King, donne les procédés pour effectuer les calculs divers pour évaluer la teneur en corps actif de l'endroit, où est placé le radiomètre. Ces calculs sont assez compliqués si on veut prendre en considération l'effet de tous les facteurs ionisants. En effet dans le cas le plus général nous sommes obligés d'admettre que l'appareil doit subir l'action:

- 1) Des rayonnements horizontaux provenant du corps radifère.
- 2) Des rayonnements horizontaux provenant du dépôt actif sur la surface.
- 3) Des rayonnements horizontaux des emanations de l'air.
- 4) Des rayonnements verticaux dirigés d'en haut et d'en bas de l'appareil provenant du corps radifère.
- 5) Des rayonnements verticaux dirigés d'en haut et d'en bas de l'appareil provenant du dépôt actif de la surface.
- 6) Des rayonnements verticaux dirigés d'en haut et d'en bas de l'appareil provenant des emanations de l'air.
- 7) Des rayonnements provenant du dépôt actif sur les parois extérieures de l'appareil même.

En effectuant l'étalonnage propre pour l'appareil et en déterminant ses constantes, on peut déterminer avec une précision suffisante pour la pratique la teneur en matière radioactive des différentes roches.

La méthode du relevé radiométrique consiste à mesurer l'intensité des radiations terrestres dans un point déterminé qui est mis ensuite sur la carte de région. Avec une quantité des observations suffisante on peut tracer les courbes ayant l'intensité des radiations constante et déterminée (isorades) dont les figures peuvent donner l'idée sur le contour du corps qui produit le changement de l'intensité de la radiation. A l'aide d'un appareil hermétiquement fermé et construit sur le principe d'ionisation dans le vase clos et en étudiant l'absorption des rayonnements par les métaux, en employant les écrans propres, on peut analyser le degré de pénétration des rayonnements horizontaux et verticaux agissant sur l'appareil dans un point quelconque.

M. F. Malikoff. Appareil pour la détermination du volume des corps de rotation 168—171

Dans la note présente on décrit l'appareil construit pour des cas, fréquemment rencontrés dans la pratique de détermination approximative du volume des corps de rotation. Il peut être adapté pour la détermination de la contenance des cuves délimitées par une surface de rotation. L'appareil est construit d'après le principe des intégraphes, mais il se distingue des planimètres par cela qu'il sert à trouver les intégrales, dont la fonction sous-intégrale est prise en carré.

Sur la fig. () est représentée l'esquisse de l'appareil qui sert à la détermination du volume, d'après le contour du dessin, et la fig. () représente l'appareil destiné au mesurage du volume du corps dans la nature.

V. S. Habel. Sur les méthodes modernes de la vérification des ondemètres 172—174

S. O. Maisel. L'état actuel de la question des unités photométriques . . . 175—181

N. P. Tarassoff. Les balances romaines à l'Ermitage d'Etat à Leningrad 182—185

Nécrologues:

N. G. Egoroff 186

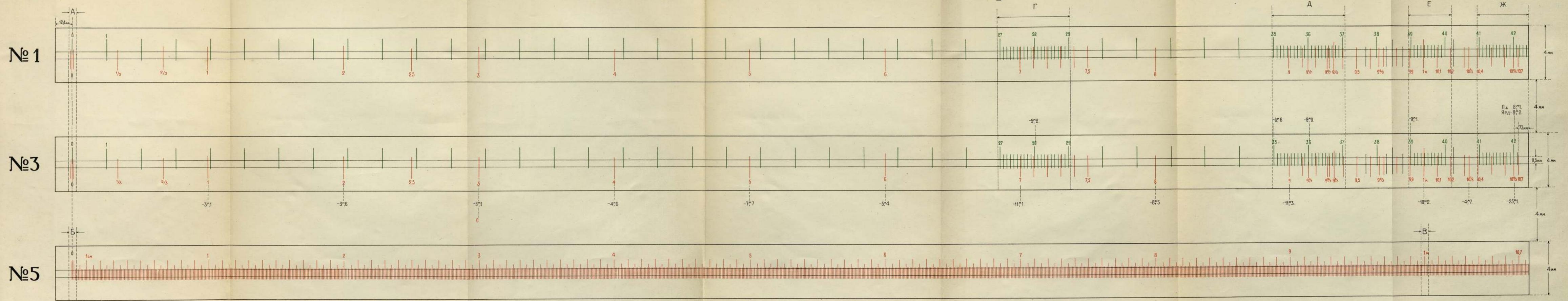
D. S. Kolovrat 190

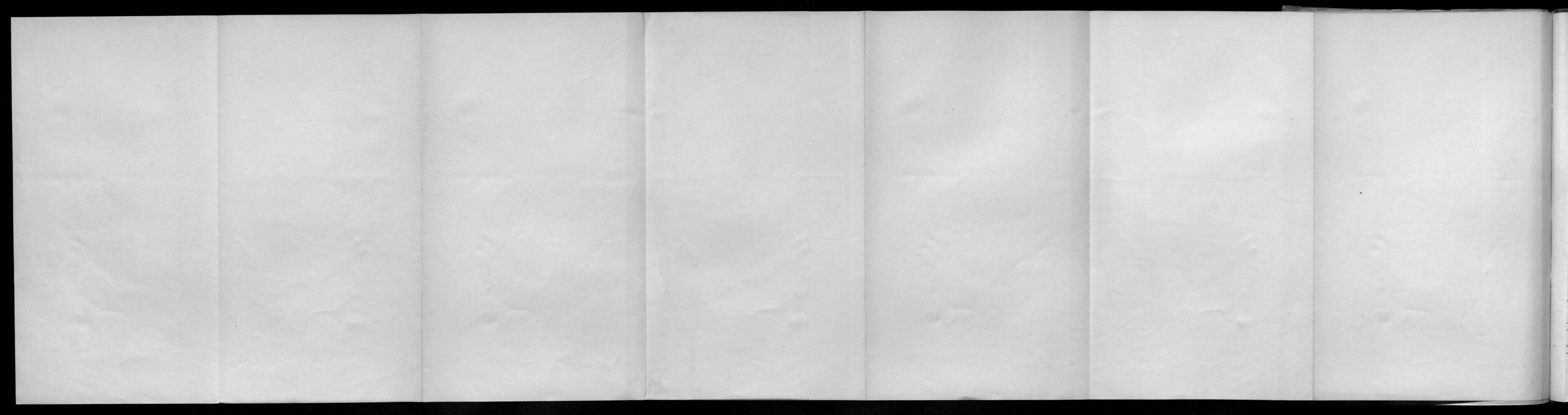
A. J. Tatzitoff 195

W. A. Iakovleff 195

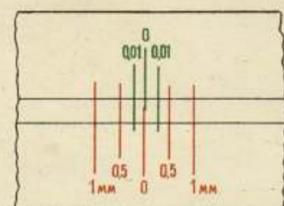
Tables des matières et des auteurs pour les parties 1—12 du Wremennik. . . 200

Платиноиридиевая полусаженная мера П₄

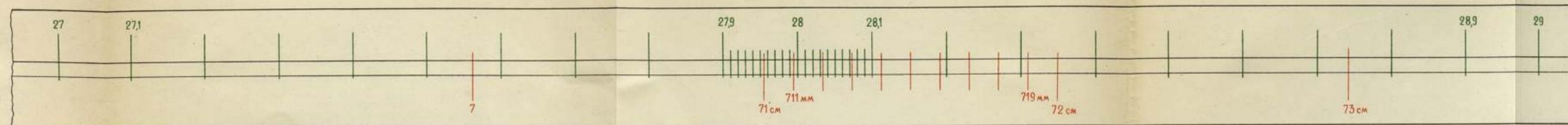




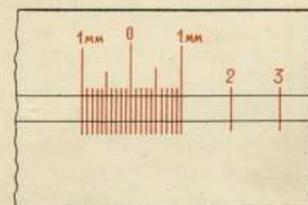
А. Деталь нулевой системы штрихов на плоск. №1 и №3



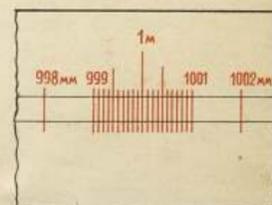
Г. Деталь интервала (27-29) дюймов



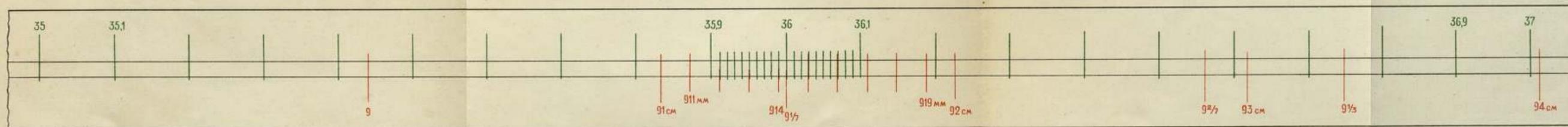
Б. Деталь нулевой системы штрихов на плоск. №5



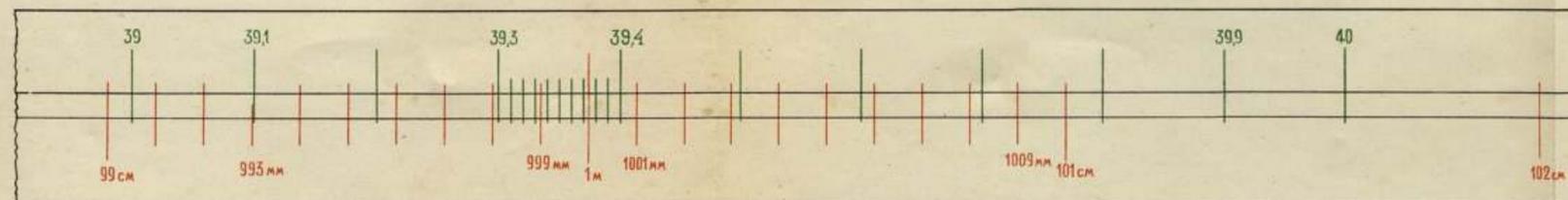
В. Деталь системы штрихов у 1 метра на плоск. №5



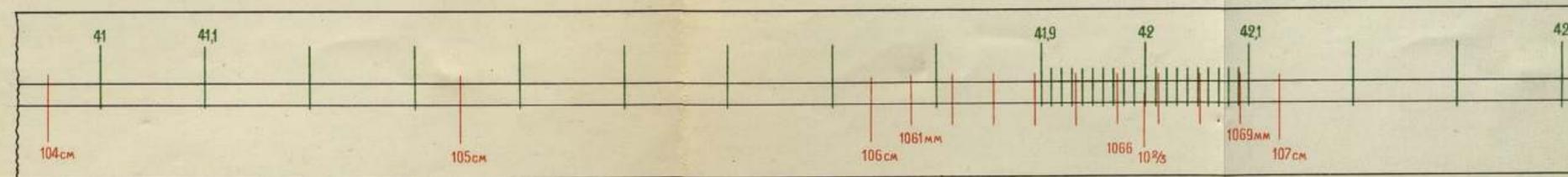
Д. Деталь интервала (35-37) дюймов

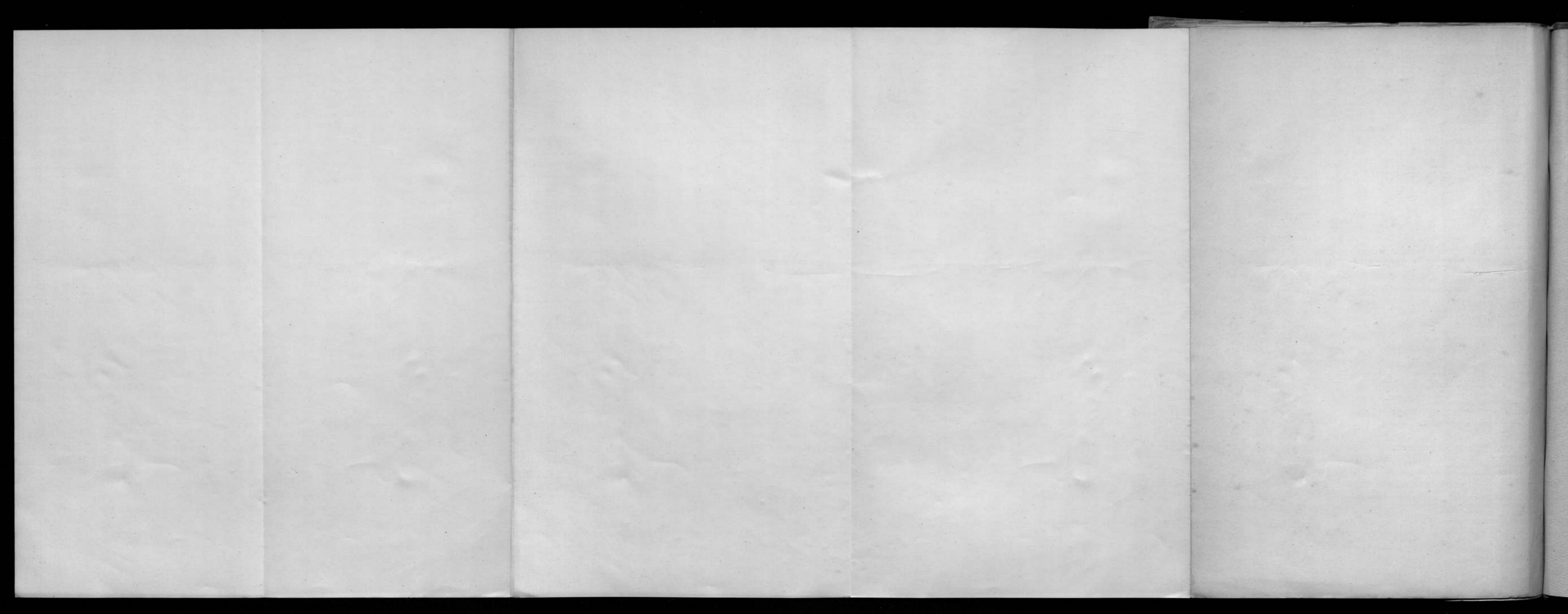


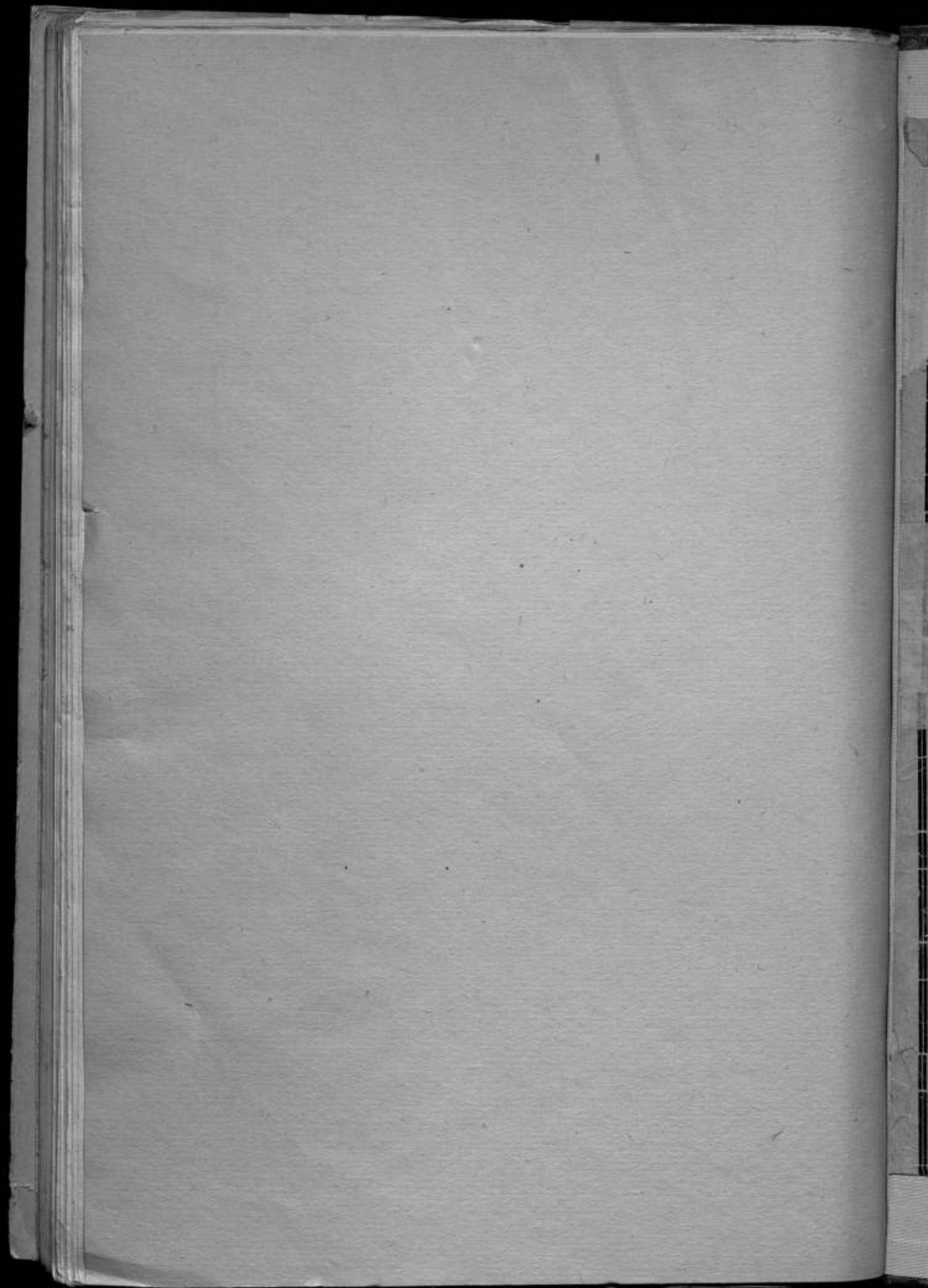
Е. Деталь интервала (99-102) см



Ж. Деталь интервала от 104 см до конца меры







Издания Главной Палаты мер и весов.

Ленинград, Международный пр., 19.

- | | |
|---|-------------|
| 1. Сравнительные таблицы русских, метрических и английских мер. С.-Петербург, 1902 г. | Разошлось. |
| 2. Маликов, М. Ф. О форме гирь. Петроград, 1918 г. | Разошлось. |
| 3. Исаков, Л. Д. Простые соотношения между русскими и метрическими мерами. Петроград, 1920 г. | — р. 25 к. |
| 4. Материалы по вопросу об установлении нормальной системы предельных калибров. Петроград, 1921 г. | 1 р. — к. |
| 5. Правила для сокращения обозначений метрических мер. Петроград, 1921 г. | Разошлось. |
| 6. Точные соотношения между русскими и метрическими мерами. Петроград, 1921 г. | Разошлось. |
| 7. Черненко, М. В. Что такое метрическая система и в чем ее преимущества. Петроград, 1922 г. | — р. 15 к. |
| 8. Семенов, Л. И. О метрической системе мер. Петроград, 1923 г. 2-е издание. | — р. 15 к. |
| 9. Хвольсон, О. Д. Метрическая система мер и весов. Москва, 1925 г. 2-е издание. | — р. 30 к. |
| 10. Маликов, М. Ф. О метрической системе мер и весов. Москва, 1925 г. 3-е издание. | — р. 20 к. |
| 11. Сравнительные таблицы русских и метрических мер. Петроград, 1923 г. | Разошлось. |
| 12. Метрические меры. Стенная таблица Л. Д. Исакова. Петроград, 1925 г. 2-е издание. | — р. 30 к. |
| 13. Таблица для перевода русских гирь метрическими и обратно. Петроград, 1925 г. | Разошлось. |
| 14. Давыдов, А. М. Веса. Руководство для поверщиков. Петроград, 1925 г. 2-е издание. | Печатается. |
| 15. Исаков, Л. Д. На весах, гирях, на весах. Петроград, 1925 г. | — р. 75 к. |
| 16. Метрическая система мер. Таблица торговых мер длины, 4-е издание, 1925 г. | — р. 12 к. |
| 17. Метрическая система мер. Таблица торговых мер веса, 4-е издание, 1925 г. | — р. 12 к. |
| 18. Метрическая система мер. Таблица мер веса для точных взвешиваний, 1925 г. | — р. 12 к. |
| 19. Метрическая система мер. Таблица торговых мер веса для оптовой торговли, 1925 г. | — р. 12 к. |
| 20. Метрическая система мер. Таблица торговых мер жидкостей, 2-е издание, 1924 г. | — р. 12 к. |
| 21. Правила об устройстве мер длины и вместимости, гирь и весов, подлежащих обязательной поверке и клеймению и наибольшие погрешности в них допускаемые. Ленинград, 1924 г., 2-е изд., дополненное. | — р. 50 к. |
| 22. Правила об электрических счетчиках. Петроград, 1923 г. | — р. 15 к. |
| 23. Такса за поверки и испытания, производимые в Метрологическом Институте Главной Палаты мер и весов. Петроград, 1923 г. | — р. 25 к. |
| 24. Второе годовое общее собрание Главной Палаты мер и весов 9 декабря 1923 г. Ленинград, 1924 г. | — — |
| 25. Таблицы для перевода мер веса, русских мер в метрические и метрических в русские. Ленинград, 1925 г. 4-е издание. | — р. 25 к. |
| 26. Медицинские максимальные термометры. Закон, правила, инструкция и необходимые сведения. Ленинград, 1924 г. | — р. 50 к. |

- | | | |
|-----|--|-------------|
| 27. | Инструкция милиции по надзору за соблюдением правил о мерах и весах. Ленинград, 1924 г. | Печатается. |
| 28. | Описание и способ употребления перегонного прибора для определения крепости виноградных вин. Ленинград, 1924 г. | — р. 20 к. |
| 29. | Поверка и клеймение мер длины, мер вместимости, гирь и весов. Руководство для поверочных палат. Ленинград, 1925 г. | Разошлось. |
| 30. | Исанов, Л. Д. Международная метрическая система. Ленинград, 1925 г. | Рашилось. |
| 31. | Виноградов, В. П. Пропаганда метрической системы. Ленинград, 1925 г. 2-е издание. | — р. 45 к. |
| 32. | Ката-термометр Хилла. Описание и способ употребления. Ленинград, 1925 г. | — р. 30 к. |
| 33. | Метрические меры. Плакат. Ленинград, 1925 г. | — р. 25 к. |
| 34. | Отчет о деятельности Главной Палаты мер и весов за время с 1 октября 1923 г. по 1 октября 1924 г. Ленинград, 1925 г. | — р. — к. |
| 35. | Таблица для перевода мер длины, русских в метрические и метрических в русские. Ленинград, 1925 г. | — р. 60 к. |
| 36. | Таблицы к металлическому спиртомеру, с описанием и наставлением к его употреблению. Ленинград, 1925 г. | 1 р. 75 к. |
| 37. | Коржинский, А. В. Руководство по уходу за геодезическими инструментами. Ленинград, 1925 г. | 1 р. 75 к. |
| 38. | Переводная таблица русских и метрических мер веса для розничной торговли. Ленинград, 1925 г. | — р. 8 к. |
| 39. | Перевод мер веса, русских в метрические и метрических в русские. Стенная таблица. Ленинград, 1925 г. | — р. 12 к. |
| 40. | Мурашинский, В. Е. Оптика бинокля. Ленинград, 1925 г. | 4 р. 50 к. |
| 41. | Таблица для перевода объемных мер золотниковой в метрические и обратно. Ленинград, 1925 г. | — р. 40 к. |
| 42. | Эбуллиметр Саллерона. Ленинград, 1925 г. | — р. 45 к. |
| 43. | Таблицы удельных весов водных растворов спирта для температур от 0° до 30° по стоградусной шкале. Ленинград, 1925 г. | — р. 25 к. |

Повременные издания Главной Палаты мер и весов.

- | | | |
|----|---|--|
| 1. | Временник Главной Палаты мер и весов. Части: 1 (1894 г.) — 12 (1918 г.), каждая ч. по 1 р. — к.
Выпуск 1 (13) 1925 г. — 3 руб. | |
| 2. | Бюллетени Комитета эталонов и стандартов.
№ 1 — 1923 г. 1 р. — к.
№ 2 — 1923 — 1924 гг. 1 р. — к.
№ 3 — 1923 — 1924 гг. 1 р. — к.
№ 4 — 1925 г. 1 р. — к. | |
| 3. | Труды Комитета эталонов и стандартов Стандартизация строительных вяжущих веществ. Ленинград, 1925 г. 1 р. — к. | |
| 4. | Поверочное дело. Выпуск 1. — 1916 г. 1 р. — к.
Выпуск 1 (2) — 1925 г. 1 р. — к.
Выпуск 2 (3) — 1925 г. 1 р. — к.
Выпуск 3 (4) печатается. | |

СКЛАДЫ ИЗДАНИЙ:

Москва. Мясницкая ул., 6. || Ленинград, пр. Нахимсона, 18.
Тел. 2-37-69. || Тел. 1-62-20.

Печатается.

— р. 20 к.

Разошлось.

Разошлось.

— р. 45 к.

— р. 30 к.

— р. 25 к.

— р. — к.

— р. 60 к.

1 р. 75 к.

1 р. 75 к.

— р. 8 к.

— р. 12 к.

4 р. 50 к.

— р. 40 к.

— р. 45 к.

— р. 25 к.

1 р. — к.

