

# ВРЕМЕННОК

ГЛАВНОЙ ПАЛАТЫ МЕР И ВЕСОВ

Выпуск 3 (15)

Сохранение. — *И. Д. Минделев*. О наиболее выгодных условиях наблюдения колебаний методом Гюйса-Поттендорфа и их применения к наблюдению качаний точных часов. — *И. Д. Кучеров*. Установление эталонных наборов ареометров для определения плотности, невзвешивая единиц. — *А. К. Казанов*. Международные нормальные элементы Вестона. — *К. С. Урбан*. Эталонные группы нормальных элементов Вестона. — *И. Ф. Малашин* и *А. К. Казанов*. Международные сравнения нормальных элементов в 1925 и 1927 г. г. — *И. Ф. Малашин*. Сравнение нормальных элементов в Главной Палате и в Центральной Электрической Лаборатории в Париже в 1929 г. — *И. Ф. Малашин*. Новая форма нормальных элементов Вестона. — *П. М. Тихонов*. Световые эталоны-синдаты С-1 и С-2, вторичный эталон Н-Т и сравнение их с основными световым эталоном СССР. — *П. М. Тихонов*. Установление световых эталонов-синдатов С-1, с № 10 по № 30 и С-2. — *И. М. Тихонов*. Сравнение единиц

силы света и светового потока СССР с единицами Германии и Франции. — *В. И. Кухарев*. Комбинированный метод Шпринг-Альберти и лабораторный переменного тока. — *Б. М. Давыдов*. Измерения кризиса заматывания, как результата обычных гистерезисных циклов. — *В. М. Давыдов*. Расчет истинных магнитов произвольной формы. — *Б. М. Давыдов* и *И. И. Соколов*. Магнитные наблюдения в районе среднего и южного Урала, произведенные летом 1929 года. С. И. Денин. Стереометрический способ определения марганца в железе и стали. — *Г. С. Валов*. Исследования прибора Абеля-Пенского. — *С. И. Зелинский*. Показка и нормы защиты от вредного действия рентгеновых лучей. — *М. П. Мизинцев*. Дифференциальный счетчик электрической энергии Миллелега. — *Положаков*, о методу народно-температурной шкалы. Некрол. от Д. П. Козлова, А. И. Георгиевский. — Резюме статей из французском языке.

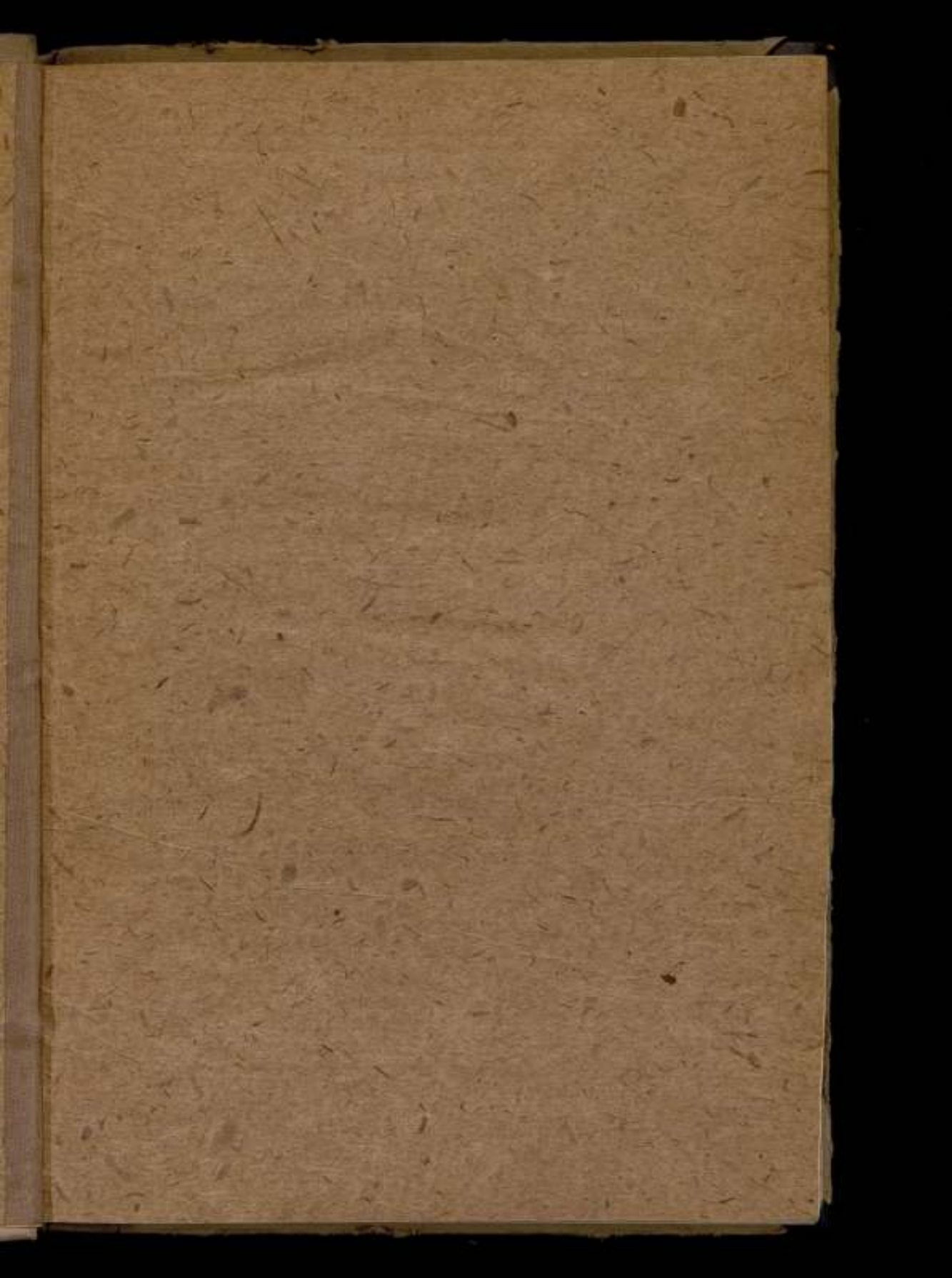


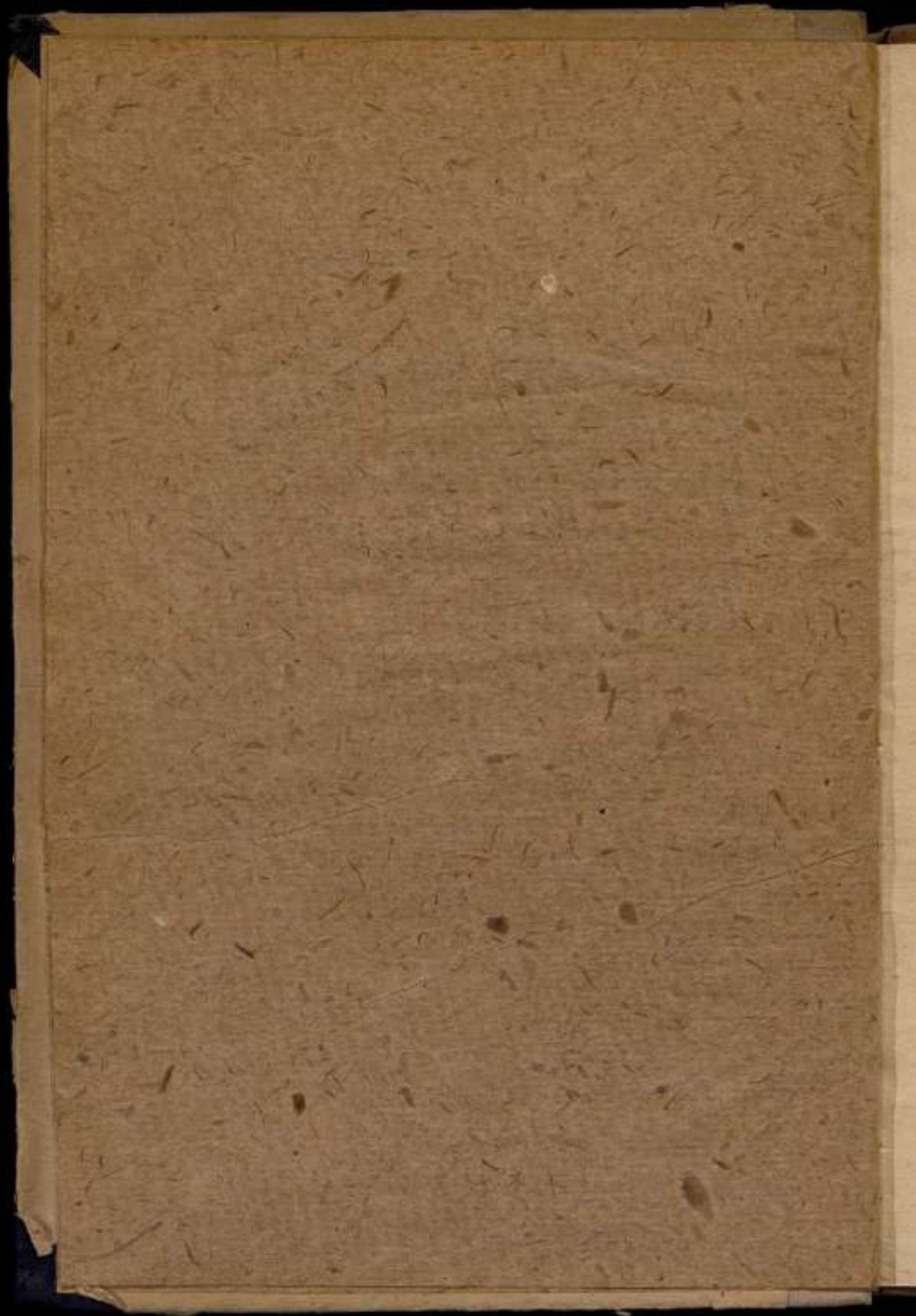
ИЗДАТЕЛЬСТВО НТУ ВСНХ СССР

Ленинград — 1929











# ВРЕМЕННОК

ГЛАВНОЙ ПАЛАТЫ МЕР И ВЕСОВ

Выпуск 3 (15)

**Содержание.** — *И. Д. Менделеев.* О наиболее выгодных условиях наблюдения колебаний методом Гаусса-Поггендорфа и их применения к наблюдению качаний точных весов. — *И. Н. Кравцов.* Установление эталонных наборов ареометров для определения плотностей, меньших единицы. — *А. К. Вологов.* Международный нормальный элемент Вестона. — *К. С. Уралева.* Эталонные группы нормальных элементов Вестона. — *М. Ф. Жалмаев и А. К. Вологов.* Международные сравнения нормальных элементов в 1926 и 1927 г. г. — *М. Ф. Жалмаев.* Сравнение нормальных элементов в Главной Палате и в Центральной Электрической Лаборатории в Париже в 1928 г. — *М. Ф. Жалмаев.* Новая форма нормальных элементов Вестона. — *И. М. Тихонова.* Световые эталоны-синдеталы С-I, и С-II, вторичный эталон И-2 и сходство их с основным световым эталоном СССР. — *И. М. Тихонова.* Установление световых эталонов-синдеталей С-I, (с № 16 по № 30) и С-II. — *И. М. Тихонова.* Сравнение единиц

силы света и светового потока СССР с единицами Германии и Франции. — *В. И. Кромова.* Компенсационный метод Шеринг-Альберти в лаборатории переменного тока. — *Б. М. Яковлев.* Идеальная кривая намагничивания, как результат обычных гистерезисных циклов. — *Б. М. Яковлев.* Расчет постоянных магнитов прямоугольной формы. — *Б. М. Яковлев и И. И. Соколов.* Магнитные наблюдения в районе среднего и южного Урала, произведенные летом 1928 года. — *С. В. Липин.* Серебряно-пресульфатный способ определения марганца в железе и стали. — *Г. С. Волков.* Исследование прибора Абеля-Пенского. — *С. Н. Угрюмов.* Правила и нормы защиты от вредного действия рентгеновых лучей. — *М. И. Менделеев.* Дифференциальный слерометрический маятник Менделеева. — Положение о международной температурной шкале. — Некрологи: *Д. П. Коновалов, А. Н. Георгиевский.* — Указание статей из французском языке.



ИЗДАТЕЛЬСТВО НТУ ВСНХ СССР

Ленинград — 1929



# О НАИБОЛЕЕ ВЫГОДНЫХ УСЛОВИЯХ НАБЛЮДЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ МЕТОДОМ ГАУССА-ПОГГЕНДОРФА И ИХ ПРИМЕНЕНИИ К НАБЛЮДЕНИЮ КАЧАНИЙ ТОЧНЫХ ВЕСОВ.

И. Д. Менделеев.

## 1. Определение оптической чувствительности установки.

Пусть с помощью данного измерительного прибора мы желаем установить некоторое объективное изменение — например, перемещение некоторой точки, вращение тела на некоторый угол, изменение давления, температуры и т. д. Пусть это изменение составит  $\beta$  соответствующих единиц и пусть в последнем счете оно выразится для нас в виде перемещения некоторого наблюдаемого нами при помощи данной установки знака в нашем поле зрения на угол  $\alpha$ . Отношение числа  $\alpha$ , измеряющего угол, под которым мы видим перемещение наблюдаемого знака, к числу  $\beta$ , измеряющему соответствующее изменение самого объекта, я называю оптической чувствительностью ( $N$ ) данной установки.

Таким образом мы будем иметь:

$$N = \frac{\alpha}{\beta} \dots \dots \dots (1)$$

В более общем смысле, обозначая положение отчетного знака на находящейся в нашем поле зрения шкале прибора через  $y$ , соответствующее значение измеряемой физической величины — через  $x$  и выразив  $y$  в функции  $x$ , мы можем сказать, что оптическая чувствительность установки есть производная  $\frac{dy}{dx}$  углового положения отчетного знака в нашем поле зрения, взятая по соответствующему этому положению значению измеряемой физической величины. Если  $y$  линейная функция от  $x$ , производная есть величина постоянная, и мы приходим к формуле (1).

Можно убедиться, что точность наблюдения данного физического изменения — при прочих равных условиях — пропорциональна оптической чувствительности установки, с помощью которой наблюдение производится.

Известно, действительно, что разрешающая способность человеческого глаза имеет некоторый предел, в силу которого мы, вообще, не можем различать угловых перемещений объектов в нашем поле зрения меньших



чем некоторый малый угол  $\delta$ . Если предмет в поле зрения сдвинулся на угол  $\alpha$ , мы можем это установить лишь с точностью до  $\pm \delta$ , при чем для всех углов  $\alpha$  угол  $\delta$  в средней области поля зрения остается приблизительно постоянным. Точность наблюдения, приведенная к единице угла, таким образом, — при данном  $\alpha$  — оказывается возможной лишь до  $\frac{\delta}{\alpha}$  величины этого угла. Это показывает, что при прочих равных условиях точность наблюдения пропорциональна углу  $\alpha$ , под которым мы видим в нашем поле зрения перемещение отчетного знака.

Так как согласно формуле (1) при заданном  $\beta$  оптическая чувствительность  $N$  в свою очередь пропорциональна углу  $\alpha$ , то и оказывается, что точность наблюдения — при прочих равных условиях — пропорциональна оптической чувствительности установки.

Чтобы сравнить выгодность — *ceteris paribus* — той или другой установки, достаточно поэтому сравнить их оптические чувствительности. Этим свойством мы и воспользуемся для анализа условий наиболее выгодного наблюдения колебаний методом Гаусса-Поггендорфа (методом «зеркала и шкалы») <sup>1)</sup>.

## 2. Субъективный метод.

При так называемом «субъективном» методе угловые отклонения зеркала  $M$  (рис. 1) измерятся смещением отражения в нем шкалы  $BB_1$ , наблюдаемой через зрительную трубу  $A$ . При повороте зеркала на угол  $\beta$  луч  $MB$ , идущий от шкалы и попадающий в трубу, отклоняется на угол  $2\beta$  от первоначального своего направления  $MA_1$ .

Построим изображение  $B_2B_2'$  шкалы  $BB_1$  в зеркале и отложим отрезок  $A_2B_2 = A_1B_1$ , на который сместится изображение шкалы при пово-

<sup>1)</sup> В простейших случаях оптическая чувствительность установки определяется сразу. Пусть, например, мы наблюдаем угол поворота угломерного прибора, делая невооруженным глазом отчет по круговой шкале. Если радиус этой шкалы  $r_1$ , а наблюдение производится с расстояния  $r_2$  глаза от шкалы, то углы поворота прибора в поле зрения при малых поворотах будут обратно пропорциональны радиусам, и мы получим  $N = \frac{r_2}{r_1}$ ; при наблюдении шкалы с расстояния ясного зрения ( $r_2 = 25$  см) оптическая чувствительность будет наибольшей.

Определение оптической чувствительности применимо однако и к сколь угодно сложным установкам, в которых передача объективного изменения совершается посредством любого ряда физических процессов (механических, оптических, электрических, термических и т. д.) — лишь бы в последнем счете наблюдение сводилось к перемещению некоторого знака в поле зрения.

Так, в микровесах В. Whiddington'a и F. A. Long'a („Note on the Application of the Ultramicrometer to the Microbalance“ Phil. Mag. (6) 49, 113—121, 1925, № 289) смещение точки равновесия микровесов типа Petterson'a определялось через изменение емкости конденсатора, одна из пластинок которого была неподвижна, другая — соединена с чашкой весов, что при нагрузке в 0,2 г позволяло — по словам авторов — различать изменения нагрузки до  $10^{-8}$  г (т. е. до одной миллионной миллиграмма). Здесь определяемое объективное изменение  $\beta$  есть изменение нагрузки; непосредственно наблюдаемый факт — изменение  $\alpha$  положения в поле зрения, положения, некоторой стрелки, с помощью которой в последнем счете измерятся в данной установке емкость конденсатора; оптическая чувствительность  $N = \frac{\alpha}{\beta}$ .

роте зеркала на угол  $\beta$  (при этом мы пренебрегаем поворотом направления изображения  $B_2B_3$  шкалы на угол  $2\beta$  — вследствие незначительности этого угла). Обозначая через  $l$  расстояние  $AM$  объектива трубы от зеркала, через  $l_1$  — расстояние  $A_1M$  шкалы от зеркала, через  $\alpha_1$  — угол, под которым из оптического центра объектива  $A$  виден отрезок  $A_2B_2$ , мы будем иметь из треугольников  $AA_2B_2$  и  $MA_2B_2$ :

$$A_2B_2 = (l + l_1) \operatorname{tg} \alpha_1; \quad A_2B_2 = l_1 \operatorname{tg} 2\beta.$$

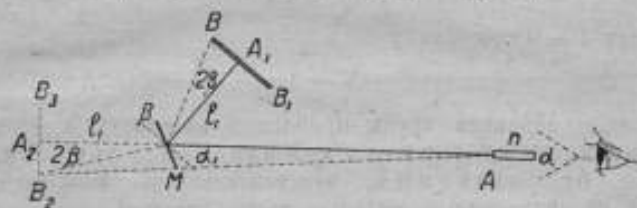


Рис. 1.

Сравнивая оба равенства и заменяя тангенсы малых углов дугами, находим:

$$(l + l_1) \alpha_1 = 2 l_1 \beta,$$

откуда

$$\alpha_1 = \frac{2 l_1 \beta}{l + l_1} = \frac{2 \beta}{1 + \frac{l}{l_1}}.$$

Если зрительная труба увеличивает изображение в  $n$  раз, то угол  $\alpha$ , под которым мы будем видеть в трубу то же смещение  $A_2B_2$ , будет в  $n$  раз больше угла  $\alpha_1$ , т.е. мы будем иметь:

$$\alpha = n \alpha_1 = \frac{2 n \beta}{1 + \frac{l}{l_1}}.$$

С другой стороны, на основании определения оптической чувствительности  $N$  (форм. 1), будем иметь:

$$N = \frac{\alpha}{\beta}.$$

Подставляя в это выражение значение  $\alpha$  и сокращая дробь на  $\beta$ , получим:

$$N = \frac{2 n}{1 + \frac{l}{l_1}} \dots \dots \dots (2)$$

Последнее выражение позволяет исследовать чувствительность данной оптической системы в функции расстояний  $l$  и  $l_1$  трубы и шкалы от зеркала.

1) Если  $l = l_1$ , т.е. объектив трубы и шкала помещены на одинаковом расстоянии от зеркала, как это принято при обычном расположении приборов, то:

$$N = n \dots \dots \dots (3)$$

Здесь расстояние трубы и шкалы от зеркала безразлично. Увеличивая это расстояние, мы ничего в чувствительности установки не выигрываем и не теряем. Конечно, увеличив расстояние шкалы от зеркала, положим, вдвое, мы—при данном угловом отклонении зеркала—получим отчет по шкале, содержащий вдвое больше делений. Но так как угловая величина каждого деления будет здесь вдвое меньше, то тот же самый результат мог бы быть достигнут, если бы, не изменяя расстояния шкалы от зеркала, мы разделили все ее деления пополам.

2) Если  $l = 0$ , то

$$N = 2n \dots \dots \dots (4)$$

Итак, если объектив трубы приближен вплотную к зеркалу, расстояние шкалы от зеркала для чувствительности системы остается безразличным; чувствительность получается вдвое большей по сравнению с обычным расположением.

3) Если  $l_1 = \infty$ , то опять

$$N = 2n, \dots \dots \dots (5)$$

т.-е. при бесконечном увеличении расстояния шкалы от зеркала чувствительность системы стремится к тому же пределу  $2n$  при чем расстояние объектива от зеркала остается для этого предела безразличным.

4) Вообще:

$$\begin{array}{ll} \text{если } l > l_1, & \text{то } N < n \\ * \quad l < l_1, & * \quad 2n > N > n \end{array}$$

Итак, чем меньше отношение  $\frac{l}{l_1}$ , тем больше чувствительность; эта чувствительность, однако, никогда не превзойдет предела  $2n$ .

Для дальнейшего увеличения чувствительности остается усиливать увеличение трубы.

### 3. Предлагавшиеся амплификаторы.

Так как усиление трубы сопряжено с увеличением отверстия объектива, а также и площади колеблющегося зеркала (служащего как бы диафрагмой для падающих на объектив лучей), то данный путь повышения чувствительности установки практически быстро приводит к пределу.

Чтобы его обойти, многими исследователями независимо друг от друга<sup>1)</sup> была предложена система двух зеркал: (рис. 2), колеблющегося  $M$  и

<sup>1)</sup> Ludwig Geiger „Steigerung der Empfindlichkeit bei des Gauss-Poggendorffschen Spiegelmethode“. *Physikalische Zeitschrift* XII (1911), p. 66. W. Volkman, „Über Spiegelablesungen mit mehrfachen Spiegelung“. *Phys. Zeitschr.* XII (1911), p. 183 (исторический обзор литературы вопроса со ссылками на Wadsworth's, Morley, and Michelson's, Weber's, Piltschikoff's, Julius's, Preuss's).



близко от него расположенного неподвижного  $M_1$ , при чем луч  $A_1$  доходит до наблюдателя после многократного последовательного отражения от обоих зеркал. Если зеркало  $M$  повернется на угол  $\beta$ , то выходящий луч ( $A_2$ ), после  $m$  отражений от зеркала  $M$  отклонится от первоначального своего направления на угол  $2m\beta$ . Таким образом, данный амплификатор повышает чувствительность системы в  $m$  раз, где  $m$  — число отражений от движущегося зеркала.

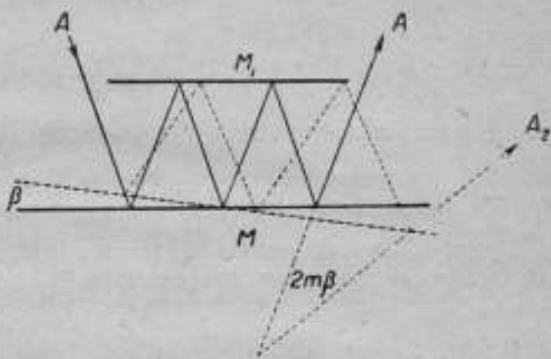


Рис. 2.

Так как, однако, при данном отклонении  $\beta$  зеркала можно достичь лишь ограниченного числа отражений, при чем многократное отражение 1) портит ясность изображения шкалы, 2) влечет необходимость увеличения колеблющегося зеркала (недопустимого для большинства приборов), — данный способ может получить лишь очень ограниченное применение.

**4. Уточнение анализа.**

Чтобы найти естественный выход, достаточно вернуться к предыдущему выводу. Мы принимали, что увеличение трубы (рис. 3) есть величина постоянная  $n$ . Это допущение справедливо лишь прибли-



Рис. 3.

женно — при больших расстояниях  $l+l_1$ , шкалы от объектива трубы. На самом же деле увеличение  $n$  есть всегда функция расстояния  $l+l_1$ . Оно равно, как известно, произведению расстояния  $f$ , на котором находится получаемое с помощью объектива действительное изображение предмета от самого объектива, на увеличение  $n'$  окуляра:

$$n = fn' \dots \dots \dots (6)$$

Обозначая через  $F$  главное фокусное расстояние объектива трубы, получим:

$$\frac{1}{f} + \frac{1}{l+l_1} = \frac{1}{F},$$

откуда:

$$f = \frac{F(l+l_1)}{l+l_1-F}.$$

Подставляя это значение  $f$  в равенство (6), находим:

$$n = \frac{F n' (l+l_1)}{l+l_1-F},$$

или, обозначая через  $\nu$  постоянное  $F n'$ , равное увеличению трубы для бесконечно-удаленных предметов:

$$n = \frac{\nu(l+l_1)}{l+l_1-F} = \frac{\nu \left(1 + \frac{l}{l_1}\right)}{1 + \frac{l-F}{l_1}}.$$

Наконец, подставляя это значение  $n$  в формулу (2):

$$N = \frac{2\nu \left(1 + \frac{l}{l_1}\right)}{\left(1 + \frac{l-F}{l_1}\right) \left(1 + \frac{l}{l_1}\right)}.$$

Откуда:

$$N = \frac{2\nu}{1 + \frac{l-F}{l_1}} \dots \dots \dots (7)$$

Исследуя это выражение, мы приходим к следующим выводам.

1) Так как знаменатель данной дроби при изменении  $l$  и  $l_1$  может принимать все значения от  $\infty$  до 0, то, изменяя соответствующим образом расстояния  $l$  и  $l_1$ , можно придать системе принципиально любую чувствительность от 0 до  $\infty$ .

2) Чувствительность становится бесконечной, когда знаменатель дроби (7) становится равным 0:

$$1 + \frac{l-F}{l_1} = 0,$$

откуда:

$$l + l_1 = F,$$

т.е. когда сумма расстояний от зеркала до шкалы и объектива равна главному фокусному расстоянию объектива. При этом, разумеется, действительное изображение, получаемое в трубе, отходит на бесконечность.

3) Чем ближе  $l+l_1$  к  $F$ , тем чувствительнее система.

4) При данном  $l+l_1$ , чем меньше  $l$ , т.е. чем ближе объектив трубы к зеркалу, тем больше чувствительность.

5) Если  $l=0$  (т.-е. при наиболее выгодном положении объектива), из формулы (7), получим:

$$N = \frac{2v}{1 - \frac{F}{l_1}} \dots \dots \dots (8)$$

т.-е. чувствительность возрастает с уменьшением расстояния  $l_1$  от зеркала до шкалы.

Например, если  $l=2F$ , мы уже получаем  $N=4v$ ; если  $l_1=1,5F$ , то  $N=6v$  и т. д.

Разумеется, при этом и здесь существуют практические границы для повышения чувствительности. Их ставят: 1) размеры помещения, в пределах которого должно остановиться расстояние действительного изображения от объектива трубы при данном  $l_1$ ; 2) светосила объектива, которая должна быть достаточна при данном освещении шкалы; 3) разрешающая способность объектива.

Но это — факторы, оставляющие еще широкую свободу повышения чувствительности в практически нужных размерах.

### 5. Амплификатор первого рода.

Предыдущий анализ приводит к двум практическим правилам для достижения наибольшей чувствительности установки:

1) Объектив трубы следует помещать как можно ближе к зеркалу;

2) Сумма расстояний  $(l+l_1)$  от зеркала до шкалы и до объектива должна быть как можно ближе к величине главного фокусного расстояния объектива — поскольку это позволяют размеры помещения (в котором должно уложиться расстояние от окуляра до объектива), освещение шкалы и разрешающая способность объектива.

Подобное расположение приборов я называю зеркальным амплификатором колебаний первого рода.

Амплификатор первого рода поставлен мною к весам Рупрехта в лаборатории весовых приборов Главной Палаты и практически испытан.

При фокусном расстоянии около 1200 мм и диаметре объектива 81 мм (вследствие недостаточных размеров зеркала на коромысле весов полезно работает около  $\frac{2}{3}$  отверстия объектива), объектив расположен на расстоянии около 350 мм от зеркала, при расстоянии шкалы в 1300 мм. На шкале можно вести ясный отчет промежутков в 0,01 мм, что соответствует повороту зеркала величиной около  $0''{,}5$  угла, а на пределе (особенно при наиболее увеличивающих окулярах) можно замечать поворот до  $0''{,}1$ , т.-е. в 20 раз меньший того, какой указывается обычно в руководствах ( $2''$ ), как на предельный при наблюдении методом зеркала и шкалы<sup>1)</sup>.

При этом можно было бы еще значительно увеличить чувствительность данной установки: 1) увеличив площадь качающегося зеркала для полного использования площади объектива, 2) увеличив освещение шкалы

<sup>1)</sup> О. Д. Хвольсон. „Курс физики“, Т. 1, стр. 275.



(которое достигается теперь лишь рассеянным светом от двух софитных лампочек по 16 свечей); 3) приблизив  $l + l_1$ , еще более к величине 1200 мм.

Дальнейшее увеличение чувствительности для целей данной установки было бесполезно. Но я подчеркиваю, что практически оно при надобности легко достижимо.

### 6. Размеры амплификатора.

При построении амплификаторов необходимо обратить внимание на следующее обстоятельство. Формулы (7) и (8) показывают, что на величину чувствительности  $N$  влияют не абсолютные величины  $l$ ,  $l_1$ ,  $F$ , а только их отношения: отношение  $\frac{l - F}{l_1}$  (в форм. 7) или отношение  $\frac{F}{l_1}$  (в форм. 8).

Поэтому, при пропорциональном уменьшении  $l$ ,  $l_1$  и  $F$ , чувствительность системы принципиально не изменится. Это позволяет, не уменьшая чувствительности системы, от сильных зрительных труб перейти к микроскопическим установкам, что для многих приборов представляет значительное удобство и удешевляет конструкцию.

### 7. Объективный метод.

При «объективном» методе, свет источника  $A$  (рис. 4), пройдя через щель экрана  $E$ , отражается от колеблющегося зеркала  $M$  и дает «зайчик» на шкале  $BB_1$ . Чтобы придать зайчику возможно резкие очертания, на пути лучей можно поставить линзу  $L$  так, чтобы на шкале получилось действительное изображение щели, посередине которой может быть натянута для удобства отчета нить. При повороте зеркала  $M$  на угол  $\beta$  отраженный луч повернется на угол  $2\beta$  и зайчик передвинется по шкале в  $B_1$ . Рассматривая это смещение глазом из точки  $O$  с расстояния ясного зрения  $\Delta$  (25 см) от шкалы, мы будем его видеть под некоторым углом  $\alpha$ . Из треугольников  $MA_1B_1$  и  $OA_1B_1$  будем иметь

$$A_1B_1 = MA, \operatorname{tg} 2\beta;$$

$$A_1B_1 = OA_1 \operatorname{tg} \alpha.$$

Обозначая  $MA$ , через  $l$ , приняв во внимание, что  $OA_1 = \Delta$  ( $= 25$  см), и заменяя тангенсы малых углов дугами, из сравнения обоих равенств находим:

$$2\beta = \Delta \cdot \alpha.$$

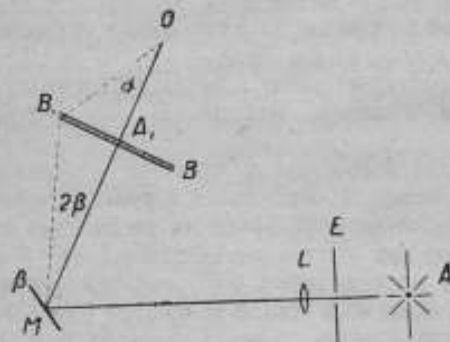


Рис. 4.

Откуда, для оптической чувствительности  $N$  получаем:

$$N = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{2l_{cm}}{25_{cm}} = \frac{2l}{\lambda} \dots \dots \dots (9)$$

Так как здесь чувствительность пропорциональна расстоянию  $l$  от зеркала до шкалы, то она теоретически может быть сделана сколь угодно большой. Для этого следует лишь отнести шкалу на достаточное расстояние от зеркала.

На практике, однако, в виду нерезкости зайчика, мы пришли бы скоро на этом пути к чрезмерным расстояниям. Так, если допустить, что минимальное наблюдаемое смещение зайчика—порядка 1 мм, для наблюдения поворота зеркала в 1° пришлось бы отнести шкалу на расстояние более, чем в 100 м. А на таком расстоянии зайчик будет наверное настолько нерезким, что его смещение в 1 мм станет практически ненаблюдаемо. Чувствительность метода быстро наталкивается на верхний предел.

### 8. Предлагавшиеся улучшения.

Чтобы улучшить объективный метод, предлагались различные способы:

1) Способ многократных отражений, отмеченный нами при рассмотрении субъективного метода, но тем же путем приложимый и к объективному<sup>1)</sup> и сопряженный здесь с теми же неудобствами.

2) Интерференционный способ. При установке чувствительного гальванометра W. Möbius заменил зеркало двумя зеркалами Френеля. Микрометр на расстоянии 2 метров от зеркала позволял замечать смещение полос в 0,001 мм. Прибор, по свидетельству конструктора, в 100 раз чувствительнее обыкновенной установки (и потому требует при наблюдениях условий спокойствия, достижимых в городе только ночью). Однако, поле наблюдаемых отклонений в подобной установке ограничивается полем зрения окуляра и соответствует всего смещению полос на 0,8 мм<sup>2)</sup>.

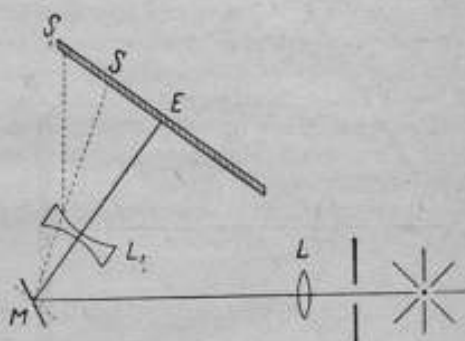


Рис. 5.

Уже поэтому данный способ не применим там, где требуется, как например, в весах, наблюдать большие углы отклонения.

3) На пути лучей между зеркалом и шкалой Michaudt предлагает помещать рассеивающую линзу  $L_1$  (рис. 5).

<sup>1)</sup> Ludwig Geiger, Opus cit.  
<sup>2)</sup> Phys. Zeits. 24 (1923), pp. 217—221.

Если через  $R = \frac{ES_1}{ES}$  обозначить отношение амплификации, т. е. отношение двух смещений зайчика  $E$ , а именно  $ES_1$  и  $ES$  (с линзой и без линзы), через  $D$ —расстояние  $EM$  шкалы от зеркала, через  $p$ —расстояние линзы от зеркала, через  $f$ —фокусное расстояние линзы, то мы получим:

$$R = 1 + \frac{p(D-p)}{fD}.$$

Поэтому  $R$  всегда больше единицы. Оно имеет максимум, равный  $1 + \frac{D}{4f}$  при  $p = \frac{D}{2}$ , если изменять  $p$ , оставляя  $D$  и  $f$  постоянными<sup>1)</sup>

Сокращая несколько расстояние от шкалы до зеркала (и потому удобный в некоторых случаях для лекционных демонстраций), данный способ, однако, сохраняет все отрицательные стороны обыкновенного метода. При этом амплитуда наблюдаемых колебаний здесь ограничена размерами линзы  $L$ , становясь при несколько больших  $p$  недостаточной для наблюдения сколько-нибудь значительных отклонений.

### 9. Амплификатор второго рода.

Перечисленные методы не дают, таким образом, универсального решения вопроса. При известных изменениях, однако, и диспозитив объективного метода может быть использован рационально.

Для этого на место световой щели достаточно поместить освещенную шкалу  $BB_1$  (рис. 6), а действительное изображение  $A_2A_1$  шкалы  $BB_1$ , получающееся — после отражения от зеркала  $M$  — в фокусе объектива  $L$  (расположенного между зеркалом и шкалой) рассматривать «субъективно» с помощью окуляра  $A$ .

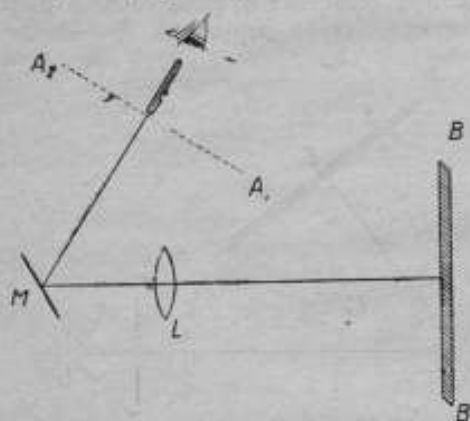


Рис. 6.

Если этот окуляр имеет увеличение  $n'$ , то угол  $\alpha_1$ , под которым мы будем видеть смещение шкалы, будет в  $n'$  раз больше угла  $\alpha$ , под которым мы видели бы то же смещение простым глазом с расстояния ясного зрения. Поэтому в формуле (9) правую часть следует увеличить в  $n'$  раз, и для чувствительности  $N$  системы мы будем иметь:

$$N = \frac{2ln'}{\Delta} \dots \dots \dots (10)$$

т. е. чувствительность будет пропорциональна расстоянию  $l$  окуляра от зеркала.

<sup>1)</sup> M. F. Michaud, „Dispositif permettant d'accroître la sensibilité de la méthode du miroir pour la mesure des faibles deviations“, Journ. de physique V s., t. IV (1914) p. 402.



При этом расстояние объектива от зеркала само на чувствительность не влияет. Но так как оно при данном фокусном расстоянии объектива уменьшает полезное расстояние  $l$ , то для построения наиболее чувствительной системы следует придерживаться следующих правил:

- 1) Объектив должен быть помещен как можно ближе к зеркалу.
- 2) Шкала должна быть помещена как можно ближе к главному фокусу объектива — поскольку это позволяет разрешающая способность объектива и допустимая длина  $l$ .

Подобную оптическую установку я предлагаю назвать зеркальным амплификатором второго рода.

Сравнивая оба амплификатора (рис. 7, I и II), мы видим, что они схожи в общем расположении частей и отличаются только местом,

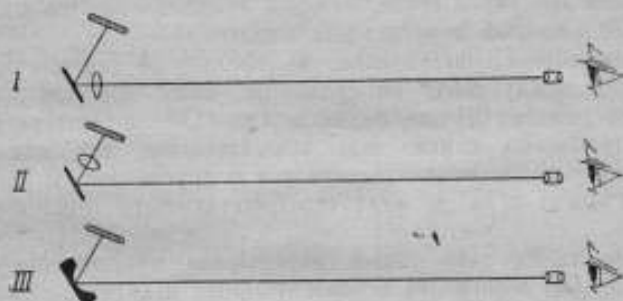


Рис. 7.

которое занимает объектив по отношению к зеркалу. В обоих случаях объектив находится в непосредственной близости к зеркалу. В этом — существенная особенность предлагаемых установок. Соединяя идею обеих конструкций, можно отождествить объектив с самим зеркалом, заменив то и другое вогнутым зеркалом, служащим колеблющимся объективом; действительное изображение шкалы, даваемое этим зеркалом-объективом, можно затем рассматривать через окуляр (рис. 7, III). Подобный амплификатор можно назвать катоптрическим (рефлекторным)<sup>1)</sup>.

## 10. К теории чувствительности весов.

Перейдем к вопросу о применении амплификаторов к весам.

Прежде всего остановимся на определении чувствительности весов, пригодном для практических целей, на которое до сих пор не обращалось достаточно внимания.

<sup>1)</sup> Первый намек на подобную установку встречается уже в весах Kahlmanna (Zeitschr. für Instrumentenk. 15 (1895) 116), где вогнутое качающееся зеркало действовало, как лупа. Эта идея, однако, пока не получила дальнейшей разработки, так как W. Block недавно охарактеризовал ее, как „позволяющую достигать лишь малых увеличений“ Walter Block, „Über Neuerungen im Bau von Laboratoriumswagen“, Zeitschr. f. Instr. XLX (April 1925) S. (172).

В учебниках чувствительность определяется по Эйлеру, как угол, на который отклоняется коромысло весов при определенной добавочной нагрузке  $\gamma$  на одной из чашек. Но мы никогда не наблюдаем угол сам по себе. Мы наблюдаем смещение какого-то знака в нашем поле зрения, по которому и судим об отклонении весов. Для точности взвешивания нам важно — не на какой угол на самом деле переместилось коромысло весов, а насколько нам заметно подобное перемещение.

Поэтому на практике утвердилось совершенно иное определение чувствительности. Чувствительность определяют числом делений шкалы отчетной системы весов, на которое смещается на ней относительно отчетной репера при дополнительной нагрузке  $\gamma$  на чашку весов.

Еще чаще говорят о грузе, который смещает отчет по шкале на одно деление, т. е. о весовой цене деления шкалы.

Подобное определение, однако, не практично, так как шкалы различных весов между собой не сравнимы. Зная, что для одних весов весовая цена деления 0,1 мг, а для других 0,05 мг, мы не можем еще сказать, которые на самом деле чувствительнее, так как не знаем угла, под которым мы видим деление той и другой шкалы, и не знаем отношения этого угла к углу соответствующего отклонения коромысла.

Поэтому, чтобы дать точное определение чувствительности весов, будет рационально ввести два вспомогательных понятия.

Угол, на который отклоняется коромысло весов при дополнительной нагрузке  $\gamma$  на одну из чашек (или, что то же, отношение приращения угла отклонения к приращению нагрузки), мы называем механической чувствительностью весов.

Отношение же угла, под которым мы видим перемещение отчетного знака в нашем поле зрения (при данной оптической установке, применяемой для наблюдения колебаний коромысла весов) к соответствующему углу, на который перемещается коромысло, мы называем оптической чувствительностью весов<sup>1)</sup>.

Наконец, истинной или эффективной чувствительностью весов (т. е., согласно определению, оптической чувствительностью всей весовой установки в целом) назовем угол,

<sup>1)</sup> Пример. Положим, мы наблюдаем простым глазом с расстояния 25 см отклонения стрелки весов, имеющей 25 см длины. При отклонении стрелки, положим, на 1°, концы стрелки в нашем поле зрения переместятся тоже на 1°. Оптическая чувствительность весов будет

$$N = \frac{2}{2} = \frac{1}{1} = 1.$$

Если бы стрелка имела 50 см длины, она при тех же условиях переместилась бы в поле зрения на угол около 2°; оптическая чувствительность была бы приближенно:

$$N = \frac{2}{1} = 2.$$

Если на пути лучей в последнем случае поставить линзу, увеличивающую угловые размеры вдвое, чувствительность стала бы  $N = 2 \cdot 2 = 4$  и т. д.

под которым мы видим смещение отчетного знака в оптической системе, с помощью которой наблюдается колебание коромысла, при дополнительной нагрузке на чашку весов некоторого груза  $\gamma$  (обычно равного единице массы)<sup>1)</sup>.

При таком определении легко показать, что эффективная чувствительность весов  $\alpha$  будет равна произведению их механической чувствительности  $\beta$  на чувствительность оптическую  $N$

$$\alpha = N \cdot \beta \dots \dots \dots (11)$$

Действительно, пусть при нагрузке  $\gamma$  коромысло весов отклонилось на угол  $\beta$ ; так как в оптической системе видимое угловое отклонение отчетного знака, по условию, будет в  $N$  раз больше, для нас отчетный знак отклонится на угол  $N\beta$ , откуда — формула (11).

### 11. Оптическая сенсбилизация весов.

Стоящая на очереди метрологическая проблема о дальнейшем увеличении точности взвешиваний среди других факторов требует неизбежно и увеличения чувствительности весов.

Формула (11) показывает, что для этого представляется, казалось бы, два совершенно равноправных пути: или увеличение чувствительности механической, или увеличение чувствительности оптической.

Веские причины не позволяют, однако, идти далеко по пути увеличения механической чувствительности:

1) При увеличении механической чувствительности быстро возрастает период колебания весов; это отражается на точности взвешивания, благодаря значительным изменениям состояния весов в течение одного взвешивания.

2) При большой механической чувствительности, как показывают произведенные мною опыты, растет в огромной пропорции неправильность в затухании колебаний, так как при малом вращающем моменте начинают выступать на первый план случайные и преходящие факторы (движение воздуха, пылинок, сотрясения, изменения острого ребра призмы и т. д.).

<sup>1)</sup> Итак, если при нагрузке в  $\Delta U$  единиц массы отчетный знак в поле зрения переместится на угол  $\Delta W$ , эффективная чувствительность  $\alpha$  будет:

$$\alpha = \frac{\Delta W}{\Delta U}$$

Эффективную чувствительность можно, следовательно, определить и как отношение числа, выражающего приращение углового положения отчетного знака в поле зрения, к числу, выражающему приращение нагрузки; или еще точнее, как предел  $\frac{dW}{dU}$ , к которому стремится это отношение при бесконечно малом приращении нагрузки ( $dU$ ); иначе говоря — как производную углового положения отчетного знака в поле зрения, взятую по нагрузке (в функции которой предполагается выраженным положение отчетного знака).

3) При малейшей неправильности расположения опорных призм, а именно при уклонении ребер опорных призм коромысла от общей плоскости, с увеличением нагрузки весы быстро меняют чувствительность; пределы нагрузки, между которыми становится практически возможным взвешивание, делаются весьма узкими.

4) При малейшей разности нагрузок на чашках весы выходят из шкалы; уравновесить их с помощью обычного равновеса (с младшими гирями до 1—0,5 мг) становится невозможным.

Остается, следовательно, путь увеличения оптической чувствительности весов, с каковой целью я и считал полезным исследовать условия построения наиболее чувствительных амплификаторов колебаний.





## УСТАНОВЛЕНИЕ ЭТАЛОННЫХ НАБОРОВ АРЕОМЕТРОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТЕЙ, МЕНЬШИХ ЕДИНИЦЫ.

И. И. Кузнецов.

С переходом в 1921 году, после ликвидации Технического Комитета Главное Управление неокладных сборов, проверки и клеймения всякого рода ареометров в Главную Палату мер и весов и организацией в ней ареометрической лаборатории, перед последней стала задача—установление эталонных наборов ареометров (ареометрических норм), служащих для измерения всей шкалы плотностей. С этой целью в 1924 году были заказаны в Берлине фирме W. Klein два одинаковых набора, состоящие из 24 ареометров каждый и обнимающие шкалу плотностей от 0,650 до 1,850. Для контроля пять ареометров из этих наборов с пределами шкалы: 0,650—0,700, 0,800—0,850, 1,000—1,050, 1,200—1,250 и 1,400—1,450 были проверены в P. T. Reichsanstalt'e.

В конце 1925 года оба набора ареометров поступили в Главную Палату, и после соответствующих подготовительных работ по устройству необходимых приспособлений было приступлено к их эталонированию.

Шкалы указанных наборов ареометров отнесены к нормальной температуре 15°C. В настоящее время в СССР введена нормальная температура 20°C. Поэтому основные ареометрические нормы должны быть отнесены к нормальной температуре 20°C. К установлению таких норм ареометрическая лаборатория уже приступила. Настоящие же нормы являются временными, необходимыми для переходного периода, и эта статья заключающая отчет об установлении ареометрических норм для плотностей, меньших единицы является первой статьей из ряда, посвященных данному вопросу.

### Описание ареометров.

Ареометры, входящие в эталонные наборы, представляют из себя стеклянные ареометры с постоянным весом, имеющие цилиндрической формы стержень со вложенной бумажной шкалой и такой же формы большего диаметра тело, оканчивающееся в нижней части балластной камерой наполненной ртутью (рис. 1). Шкала каждого ареометра



Рис. 1  
( $\frac{3}{4}$  нат. вел.).

соответствует разности плотностей в 0,055 и разделена на 110 частей, т.е. одно деление соответствует 0,0005 ед. плотности. На каждом ареометре нижняя точка шкалы, отмеченная цифрами, повторяется на верхнем конце следующего по пределам шкалы ареометра, и, кроме того, над цифрованным делением верхней части шкалы повторяются четыре деления, а под цифровым делением нижней части шкалы—шесть делений (дополнительные деления шкалы).

Размеры, вес и предел шкалы ареометра, приведены в таблице 1.

Таблица 1.

№№ ареометров	Пределы шкалы	Диаметр тела	Диаметр стержня	Длина шкалы	Средняя длина деления	Вес в граммах	Примечание
I набор							
1201	0,648—0,703	455,0	18,62	5,40	186,9	1,70	35,080
1202	0,698—0,753	461,0	19,32	5,40	187,6	1,70	40,430
1203	0,748—0,803	457,5	18,82	5,40	169,2	1,54	40,912
1204	0,798—0,853	458,0	20,10	5,34	182,2	1,66	49,912
1205	0,848—0,903	459,0	20,10	5,50	170,0	1,55	54,360
1206	0,898—0,953	451,2	19,89	5,42	161,3	1,45	55,340
1207	0,948—1,003	462,0	20,10	5,24	165,7	1,51	59,818
II набор							
1225	0,648—0,703	457,8	18,56	5,36	182,0	1,65	33,936
1226	0,698—0,753	459,5	18,72	5,34	192,0	1,75	39,070
1227	0,748—0,803	456,5	19,24	5,24	177,2	1,61	42,262
1228	0,798—0,853	462,5	19,90	5,44	181,8	1,65	49,850
1229	0,848—0,903	459,0	20,20	5,46	171,7	1,55	54,278
1230	0,898—0,953	441,0	20,36	5,38	160,9	1,46	56,070
1231	0,948—1,003	458,0	20,04	5,36	158,1	1,44	60,028

1. Диаметр тела определен в средней части также и диаметр стержня.

2. Длина шкалы определена с 10 дополнительными делениями.

3. Средняя длина одного деления определена делением длины всей шкалы на 110 частей.

4. Вес определен при температуре взвешивания в атмосферном давлении.

На шкале каждого ареометра находится надпись «Нормальный ареометр.  $t = 15^{\circ}\text{C}$ . Отчет по нижнему краю мениска». В теле ареометра, кроме того, прикреплен ярлычок с надписью: «Главная Палата мер и весов СССР. Ареометр по уд. весу изготовл. В. Клейн, Берлин, 1925 г. № ...». Все ареометры изготовлены из неевского нормального стекла, о чем свидетельствует фабричная марка в виде цветной полоски, протянутой в стекле вдоль прибора. Каждый эталонный набор уложен в футляр очень тщательной работы с соответствующими надписями также на русском языке.

#### Приборы и материалы, употреблявшиеся для эталонирования ареометров.

Для точного определения плотности растворов, употреблявшихся для эталонирования ареометров, применялся способ гидростатического взвешивания, которое производилось на точных весах фирмы J. Neuhetz, Wien, с наибольшей нагрузкой в 200 г. Означенные веса предварительно были подвергнуты детальному исследованию в отношении устойчивости равно-

весия, неравноплечности коромысла и чувствительности при разных нагрузках. Арретирование весов производилось с помощью трубчатого металлического рычага длиной в 2 метра, и с этого же расстояния велся отчет колебаний коромысла с помощью зрительной трубы. Кроме того, для устранения причин, изменяющих положения равновесия (непосредственного влияния на весы источников тепла), весы заключены в картонный футляр, оклеенный и с внутренней и с наружной стороны тонкими никелированными листами и снабженный закрывающимися отверстиями, дающими возможность производить все необходимые манипуляции с весами. Шкала весов освещалась через особое отверстие в картонном футляре с помощью электрической лампочки с рефлектором, находившейся сзади наблюдателя на значительном расстоянии от весов. Весы установлены на прочном дубовом шкафу с зеркалами со всех четырех сторон. Шкаф с установленными на нем весами защищен с трех сторон фанерными ширмами окрашенными с внутренней стороны белой краской и имеющими назначение предохранять весы от всякого движения воздуха.

При взвешивании применялся бронзовый золоченый разновес Кнерргешта от 1 до 100 г, а для определения десятых и сотых долей грамма—особое приспособление в весах для автоматической посадки соответствующего числа рейтеров в 0,1 и 0,01 г на особую гребенку, укрепленную на серьге подвеса правой чашки.

Для определения температуры употреблялись следующие термометры:

1) для определения температуры в витрине весов—термометр фирмы R. Fuess № 1168, с пределами шкалы от  $-3^{\circ}$  до  $+51^{\circ}\text{C}$  и с наименьшим подразделением в  $0,1^{\circ}$ ;

2) для определения температуры раствора такой же термометр № 1167;

3) для определения температуры в шкафу весов—термометр № 1464, работы стеклудувной мастерской Главной Палаты, с пределами шкалы от  $-2,6^{\circ}$  до  $+57^{\circ}\text{C}$  и с наименьшим подразделением в  $0,1^{\circ}$ ;

4) для определения температуры водяной ванны—термометр № 2282, работы той же мастерской, с пределами шкалы от  $-2,2^{\circ}$  до  $+50,0^{\circ}\text{C}$  и с наименьшим подразделением в  $0,2^{\circ}$ .

Атмосферное давление определялось барометром—анероид № 564, фирмы Naudet, Paris.

Для определения влажности воздуха применялся психрометр Aszmann, термометры его за №№ 605 и 606, с пределами шкалы от  $-30^{\circ}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$  и с наименьшим подразделением в  $0,2^{\circ}$ .

Все перечисленные приборы были предварительно поверены в соответствующих лабораториях Главной Палаты.

Для гидростатического взвешивания употреблялся стеклянный поплавок, который представляет цилиндрическое тело со сферическим основанием, заполненным скрепленной красным сургучом дробью, на противоположном конце снабженное стеклянным крючком (рис. 2). Длина поплавок без крючка около 140 мм, диаметр 26,9 мм, истинный вес 100,96 г и объем 71,21 мм при  $15^{\circ}\text{C}$ . Внутри поплавок прикреплен ярлычок с надписью: «Поплавок № 2, изготовленный из Jenische Normal Thermometers Glas, Schmelzungs Nummer XVI<sup>III</sup>. Толщина стекла 2,4 мм.

Изготовлен 3 января 1890 г. Примечание. По особому заказу стекло изготовлено без обыкновенного фабричного знака, красной полосы вдоль трубки».

Для подвешивания поплавок к чашке весов применялся бронзовый золоченый подвес длиной 375 мм и платиновый подвес с платиновым крючком на верхнем конце и петлей на нижнем; длина платинового подвеса 178 мм, диаметр 0,25 мм и вес 0,7332 г.



Рис. 2  
( $\frac{1}{4}$  ват.  
вел.).

Для определения объема поплавок гидростатическое взвешивание производилось в свежее перегнанной воде, которая накануне взвешивания фильтровалась.

Для определения плотности жидкости ареометрическим способом и способом гидростатического взвешивания употреблялись следующие материалы:

- а) для плотностей 0,650—0,850 нефтяные продукты;
- б) для плотностей 0,850—1,000 серноватые смеси;

Из нефтяных продуктов (советского происхождения) применялись: петролейные эфиры плотностью 0,650—0,700 и пиронафт плотностью 0,850, к которому в соответствующей пропорции прибавлялся бензин плотностью 0,700 для получения требуемой плотности. Для растворов более тяжелых, от 0,850 до 1,000, служили серноватые смеси, т. е. раствор химически чистой серной кислоты плотностью 1,843 в ректификованном винном спирте крепостью в 85%. Серноватые смеси должны быть признаны наиболее пригодным материалом для проверки ареометров в виду того, что являясь однородными, совершенно бесцветными и очень стойкими смесями, они дают прекрасное смачивание стержня ареометра, что обуславливает правильное образование мениска; кроме того, эти смеси обнимают значительную шкалу плотностей от 0,85 до 1,85.

Раствор, в котором производилась проверка показаний ареометра (отчет и гидростатическое взвешивание), помещался в стеклянном цилиндре диаметром в 13 см и высотой в 50 см, т. е. емкостью приблизительно в 7 литров. Этот цилиндр, в свою очередь, с помощью латунного никелированного кольца на трех ножках с установочными винтами, подвешивался на ободке стеклянного цилиндра большей емкости, который наполнялся водой и таким образом служил ванной. Размеры ванны: диаметр 24 см и высота 54 см, т. е. емкость приблизительно 24 литра. Для поддержания постоянной температуры в водяной ванне, а следовательно, и в растворе, во время гидростатического взвешивания на ванну надевался войлочный чехол, обшитый белым полотном, а сверху такой же колпак с отверстием для пропуска платинового подвеса. Перемешивание воды в ванне, а также раствора в цилиндре, производилось с помощью ручных мешалок.

### Эталонирование ареометров.

Эталонирование ареометров или установление ареометрических норм сводится к следующим пяти операциям:

- 1) приготовление раствора определенной плотности;
- 2) определение плотности раствора ареометрическим способом;
- 3) определение плотности раствора гидростатическим взвешиванием;



4) взвешивание поплавок в воздухе и в воде для определения абсолютного веса поплавок и его объема при  $15^{\circ}\text{C}$  и

5) обработка результатов наблюдений и вывод поправок к каждому ареометру.

Приготовление раствора производилось накануне гидростатического взвешивания для той точки шкалы ареометра, которая назначена к исследованию, при чем, так как ареометры градуированы для нормальной температуры  $15^{\circ}\text{C}$ , то и подгонка плотности, а равно и высоты уровня жидкости, отмеченной чертою на стенке цилиндра, постоянно производилась при той же температуре. В виду того, что раствор, плотность которого определена нормальным ареометром и гидростатическим взвешиванием, продолжал служить и для дальнейших исследований, к нему прибавлялся или более легкий, или более тяжелый материал из указанных в предыдущей главе, чтобы получить требуемую плотность. Каждый ареометр поверялся на всех цифрованных делениях шкалы, т.е. в 6 точках шкалы; следовательно, для каждого ареометра требовалось 6 растворов различной плотности. Для поддержания требуемой чистоты раствора, последний подвергался периодической декантации или фильтрации.

Определение плотности раствора, приготовленного накануне, с помощью ареометра, входящего в эталонный набор, производилось перед самым гидростатическим взвешиванием. Для этой цели поочередно погружались ареометры из обоих наборов. В виду того, что показания ареометра существенно зависят от чистоты его поверхности, особенно в той части, где образуется мениск, перед погружением в раствор ареометры промывались в дистиллированной воде и в крепком ректифицированном винном спирте, протирались после каждой промывки тонким льняным полотенцем и затем погружались в химически чистый серный эфир плотностью 0,725, после чего просушивались на стойке без протиранья в течение 15—20 минут. Подготовленный таким образом ареометр медленно погружался в тщательно перемешанный раствор и не доводился на 2—3 мм до поверяемого деления шкалы, чтобы до этого деления он погрузился под действием собственного веса. Такой прием обуславливает правильное смачивание жидкостью стержня ареометра, а следовательно, и правильное образование мениска. Отчет по шкале ареометра производился по нижнему краю мениска через пять минут после погружения; означенный период времени определялся песочными часами. При отчете принимались во внимание десятые доли наименьшего деления шкалы, т.е. 0,00005 плотности. Произведенный по шкале ареометра отчет дает плотность раствора при температуре  $15^{\circ}\text{C}$ , определенную ареометрическим способом. Отчет температуры раствора производился в момент погружения ареометра и в момент отчета по шкале ареометра (т.е. через 5 минут), при чем изменение температуры не допускалось больше, чем на  $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$ . Поддерживать постоянную температуру раствора точно в  $15^{\circ}\text{C}$ , даже без упомянутого колебания в  $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$ , удавалось с помощью водяной ванны сравнительно легко на протяжении большей части года, для чего в помещении, где производились наблюдения, поддерживалась постоянная температура очень близкая к  $+15^{\circ}\text{C}$  с очень незначительным отклонением в ту или

другую сторону (не больше  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ ). Колебания температуры водяной ванны при этом не превышали  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ .

После погружения эталонируемых ареометров в том же самом растворе тотчас же производилось гидростатическое взвешивание, для чего раствор после тщательного перемешивания и точной подгонки температуры до  $+15^\circ\text{C}$ , перемещался в шкаф, на котором находятся точные весы. Для быстрого и плавного перемещения цилиндра с раствором, находящегося в водяной ванне (общий вес свыше 35 кг), спроектирована

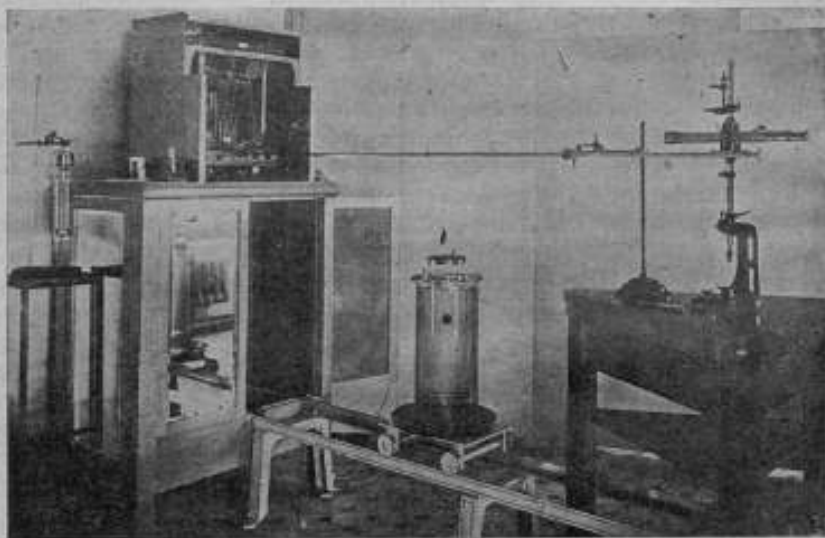


Рис. 3.

в ареометрической лаборатории и построена в мастерской Главной Палаты рельсовая установка с движущейся по рельсам на роликах чугунной площадкой. Один конец рельсовой установки, длина которой 3 метра, служит местом, где производится погружение в раствор ареометров, а другой конец входит в шкаф весов, но с таким расчетом, чтобы при перемещении по рельсам площадки не вызывали ни малейших сотрясений шкафа, а следовательно, и весов (рис. 3).

Тщательно подготовленный поплавок, оковчательно промытый в химически чистом серном эфире и просушенный на особой стойке, погружался на платиновом подвесе в раствор на такую глубину, на какой он находится во время взвешивания, чтобы таким образом платиновый подвес не смачивался в той части, которая должна была быть сухой. После установки цилиндра с раствором в шкафу, поплавок подвешивался к правой чашке весов на бронзовом золоченом подвесе, который уравновешен постоянной тарой в виде золоченого грузика, и на тонкой платиновой проволоке, которая для лучшего смачивания предварительно промывалась этиловым спиртом и серным эфиром или прокаливалась в пламени спиртовой

горелки. Температура раствора определялась в начале и в конце взвешивания термометром, ртутный резервуар которого находился по середине погруженного в раствор поплавок, при чем отклонение температуры от  $15^{\circ}\text{C}$  не допускалось больше  $\pm 0,10^{\circ}\text{C}$ . Термометр укреплен в металлической двухстворчатой крышке цилиндра, покрытой снаружи картоном и имеющей в середине отверстие в 10 мм для пропуска платиновой проволоки. После каждого взвешивания поплавок производилось особое взвешивание платинового подвеса при той же температуре раствора в  $15^{\circ}\text{C}$ , при чем во время этого взвешивания поплавок находился на дне цилиндра для того, чтобы сохранить уровень раствора на той же высоте, как и при взвешивании поплавок. Гидростатические взвешивания производились по способу тарирования (Borda), при чем в качестве тары употреблялся разновес, изготовленный из того же материала, что и гири образцового разновеса. Гири тары и образцового разновеса помещались до взвешивания в витрину весов, чтобы они могли принять температуру весов. Положение разновеса выводилось из наблюдения 4 элонгаций. Чувствительность весов была установлена таким образом, чтобы одному делению шкалы при нагрузках 20—100 г отвечало не больше 0,2 мг.

Взвешивания поплавок в воздухе и в воде для определения абсолютного веса поплавок и объема его при  $15^{\circ}\text{C}$  производилось также по способу тарирования (Borda) и тем же порядком, как и в растворах, с той лишь разницею, что взвешивание в воде произведено как при температуре  $15^{\circ}\text{C}$ , так и при иной, более высокой температуре, какая была в помещении в теплое время года. Перед взвешиванием в воздухе поплавок выдерживался в шкафу весов с тою целью, чтобы он вполне принял температуру шкафа, где во время взвешивания он находился в подвешенном состоянии.

В течение 8 месяцев поплавок взвешивался как в воздухе, так и в воде (в один и тот же день) 6 раз. Из произведенных шести взвешиваний получены следующие величины для абсолютного веса  $P$  и объема  $V_{15}$  поплавок:

Время наблюдений	$P$	$V_{15}$
1926 г. 17 июня . . .	100,9639	71,2139 (max)
" " 4 августа . . .	100,9640	71,2095 (min)
" " 4 сентября . . .	100,9636 (min)	71,2102
" " 7 сентября . . .	100,9638	71,2122
1927 г. 16 февраля . .	100,9642 (max)	71,2129
" " 17 февраля . . .	100,9638	71,2129
Среднее . . .	100,9639	71,2118

Полученные средние величины:  $P = 100,9639$  г и  $V_{15} = 71,2118$  мл были приняты для определения плотности раствора при температуре  $15^{\circ}\text{C}$ .

Для контроля правильности определения абсолютного веса и объема поплавок по окончании всей работы произведено дополнительно два взвешивания поплавок в воздухе и в воде. Эти взвешивания после обработки наблюдений дали следующие результаты:

Время наблюдений	$P$	$V_{15}$
1927 г. 21 мая . . .	100,9638	71,2103
" " 6 июля . . .	100,9639	71,2134
Среднее . . .	100,9638 <sub>5</sub>	71,2118 <sub>5</sub>

Таким образом полученные результаты контрольных взвешиваний вполне подтвердили правильность определения средних величин для абсолютного веса поплавка и его объема при температуре 15°C. Что касается наибольшего и наименьшего значения  $V_{15}$ , полученного во время отдельных наблюдений с разницей, доходящей до 0,0044 мл, то исследование показало, что если за величину  $V_{15}$  принять наибольшее или наименьшее значение, разница в вычисленных плотностях раствора не превысит 0,00005, а по сравнению с принятой средней величиной  $V_{15}$ —не превысит 0,00003.

Обработка результатов наблюдений для вывода поправок к эталонным ареометрам производилась параллельно двумя сотрудниками лаборатории Н. С. Михельсоном и П. П. Кузнецовым и состояла из 3-х частей:

- 1) вычисление абсолютного веса поплавка и его объема при температуре 15°C;
- 2) определение истинной плотности раствора при температуре 15°C и
- 3) вывод поправок к эталонным ареометрам.

Абсолютный вес  $P$  и объем поплавка  $V_{15}$  вычислялись из двух нижеследующих уравнений, из которых первое вытекает из взвешивания поплавка в воздухе, а второе—из взвешивания поплавка в воде:

$$Q = P - V_{15} (1 + \alpha \cdot \delta t) \cdot a_t \dots \dots \dots (1)$$

$$q = P - V_{15} (1 + \alpha \cdot \delta t_1) \cdot \Delta_t \dots \dots \dots (2)$$

В эти уравнениях:

$Q$ —наблюдаемый вес поплавка (без платинового подвеса) в воздухе, с учетом поправки на потерю веса гирь в воздухе;

$q$ —наблюдаемый вес поплавка (без платинового подвеса) в воде, с учетом поправки на потерю веса гирь в воздухе;

$P$ —абсолютный вес поплавка;

$V_{15}$ —объем поплавка при температуре 15°C;

$a_t$ —плотность воздуха при наблюдаемых температуре и давлении, с учетом поправки на влажность;

$\delta t = t - 15$ , где  $t$ —наблюдаемая температура воздуха в шкафу, где помещался поплавок, подвешенный к чашке весов;

$\delta t_1 = t_1 - 15$ , где  $t_1$ —наблюдаемая температура воды;

$\Delta_t$ —плотность воды при температуре наблюдения, взятая из таблицы P. Chappuis, Densité de l'eau pure, privée d'air;

$\alpha$ —коэффициент расширения стекла, принятый равным 0,000025.

Вычитая из уравнения (1) уравнение (2), получаем:

$$\begin{aligned} Q - q &= V_{15} (1 + \alpha \cdot \delta t_1) \cdot \Delta_t - V_{15} (1 + \alpha \cdot \delta t) \cdot a_t = \\ &= V_{15} [(1 + \alpha \cdot \delta t_1) \cdot \Delta_t - (1 + \alpha \cdot \delta t) \cdot a_t] = \\ &= V_{15} [\Delta_t - a_t + \alpha (\delta t_1 \cdot \Delta_t - \delta t \cdot a_t)]. \end{aligned}$$

Отсюда находим:

$$V_{15} = \frac{Q - q}{\Delta_t - a_t + \alpha (\delta t_1 \cdot \Delta_t - a_t \cdot \delta t)}$$



Из уравнения (1) получаем:

$$P = Q + V_{15} (1 + \alpha \cdot \delta t) \cdot a_t$$

Последнее уравнение заменяется более простым:

$$P = Q + V_{15} \cdot a_t$$

в виду того, что член  $(1 + \alpha \cdot \delta t)$  можно считать равным единице.

Плотность раствора при температуре 15°C по отношению к плотности воды при температуре 4°C, т.е.  $S_{w,t}$ , определенная путем гидростатического взвешивания получается из уравнения:

$$\text{откуда: } q_1 = P - V_{15} \cdot S_{w,t}$$

$$S_{w,t} = \frac{P - q_1}{V_{15}}$$

В этом уравнении:

$P$ —абсолютный вес поплавка;

$V_{15}$ —объем поплавка при температуре 15° C;

$q_1$ —наблюдаемый вес поплавка в растворе при температуре 15° C с учетом поправки на потерю веса гирь в воздухе.

При обработке всех наблюдений введены поправки ко всем приборам, употреблявшимся в работе.

Учет потери веса гирь в воздухе производился по формуле:

$$Q = Q_1 \left(1 - \frac{a_t}{8,3}\right),$$

где  $Q$ —наблюдаемый вес поплавка без учета потери веса гирь в воздухе.

Определение плотности воздуха при наблюдаемой температуре в витрине весов, наблюдаемом давлении и соответствующей влажности производилось по формуле:

$$a_t = \frac{a_{t_{\text{ном}}}}{1 + \alpha_t t} \cdot \frac{H - \frac{3}{8} \cdot h}{760},$$

где первый множитель находился из таблиц Landolt'a.

Учет поправки на влажность воздуха производился по формуле:

$$H = H_1 - \frac{3}{8} \cdot h,$$

где  $H_1$ —наблюдаемое давление и  $h$ —упругость водяных паров, найденная из таблиц Landolt'a для психометра.

Вывод поправок к эталонным ареометрам произведен путем определения разности между плотностями, полученными ареометрическим способом и способом гидростатического взвешивания при одной и той же темпера-

туре 15° С. Так как плотность раствора определялась ареометрическим способом с точностью до 0,1 наименьшего деления шкалы, т. е. с точностью до 0,00005, то и выведенные поправки даются с этой же точностью.

В таблицах II и III приведены поправки для каждого ареометра обоих эталонных наборов.

Таблица II.  
Первый эталонный набор ареометров.

№№ ареометров	Отчет по шкале ареометра	Действи- тельная плотность	Поправка	№№ ареометров	Отчет по шкале ареометра	Действи- тельная плотность	Поправка	
1201	0,65020	0,65016	-0,00004	1205	0,85045	0,85055	+10	
	0,65070 <sup>1)</sup>	0,65069	-1		0,86005	0,86020	+15	
	0,66060	0,66050	-10		0,87015	0,87013	-2	
	0,66055 <sup>1)</sup>	0,66040	-15		0,88005	0,88012	+7	
	0,66965	0,66947	-18		0,89010	0,89008	-2	
	0,67000 <sup>1)</sup>	0,66984	-16		0,89995	0,89985	-10	
	0,68000	0,67985	-15		1206	0,89990	0,89985	-5
	0,68985	0,68974	-11			0,91020	0,90992	-28
	0,69930	0,69922	-8			0,91000 <sup>1)</sup>	0,90975	-25
1202	0,69905	0,69922	+17	0,92030		0,92033	+3	
	0,71025	0,71035	+10	0,93000		0,92997	-3	
	0,71980	0,71979	-1	0,93995	0,93982	-13		
	0,72980	0,72986	+6	0,94990	0,94970	-20		
	0,74030	0,74034	+4	1207	0,94990	0,94970	-20	
	0,75035	0,75058	+23		0,95975	0,95971	-4	
0,75030 <sup>1)</sup>	0,75050	+20	0,96980		0,96985	+5		
1203	0,75040	0,75058	+18		0,98010	0,98040	+30	
	0,75035 <sup>1)</sup>	0,75050	+15	0,98985	0,99014	+29		
	0,76020	0,76043	+23	1,00060	1,00113	+23		
	0,77035	0,77051	+16	1,00050 <sup>1)</sup>	1,00073	+23		
	0,78040	0,78052	+12					
	0,78985	0,78980	-5					
	0,79010 <sup>1)</sup>	0,79006	-4					
	0,79930	0,79933	+3					
1204	0,79930	0,79933	+3					
	0,80970	0,80966	-2					
	0,81020 <sup>1)</sup>	0,81023	+3					
	0,81995	0,82007	+12					
	0,83015 <sup>1)</sup>	0,83018	+3					
	0,83035	0,83033	-2					
	0,83985	0,83958	-7					
	0,83990 <sup>1)</sup>	0,83983	-7					
	0,84980	0,84990	+10					

<sup>1)</sup> Контрольные наблюдения.

Таблица III.  
Второй эталонный набор ареометров.

№ № ареометров	Отчет по шкале ареометра	Действи- тельная плотность	Поправка	№ № ареометров	Отчет по шкале ареометра	Действи- тельная плотность	Поправка	
1225	0,65000	0,65016	+0,00016	1229	0,85040	0,85055	+ 15	
	0,65050 <sup>1)</sup>	0,65069	+ 19		0,86000	0,86020	+ 20	
	0,66045	0,66050	+ 5		0,87010	0,87013	+ 3	
	0,66040 <sup>1)</sup>	0,66040	0		0,88000	0,88012	+ 12	
	0,66950	0,66947	- 3		0,89005	0,89008	+ 3	
	0,66985 <sup>1)</sup>	0,66984	- 1		0,89990	0,89985	- 5	
	0,67990	0,67985	- 5		1230	0,90000	0,89985	- 15
	0,68975	0,68974	- 1			0,91005	0,90975	- 30
	0,69925	0,69922	- 3			0,92035	0,92033	- 2
	1226	0,69990	0,69922			- 8	0,93005	0,92997
0,71020		0,71035	+ 15	0,93995		0,93982	- 13	
0,71980		0,71979	- 1	0,94995		0,94970	- 25	
0,72985		0,72986	+ 1	1231		0,94990	0,94970	- 20
0,74030		0,74034	+ 4			0,95980	0,95971	- 9
0,75035		0,75058	+ 23			0,96970	0,96985	+ 15
0,75030 <sup>1)</sup>		0,75050	+ 20			0,98000	0,98040	+ 40
1227	0,75035	0,75058	+ 23		0,98980	0,99014	+ 34	
	0,75030 <sup>1)</sup>	0,75050	+ 20		1,00070	1,00113	+ 43	
	0,76020	0,76043	+ 23					
	0,77030	0,77051	+ 21					
	0,78030	0,78052	+ 22					
	0,79000	0,79006	+ 6					
	0,79010 <sup>1)</sup>	0,79011	+ 1					
0,79925	0,79933	+ 8						
1228	0,79940	0,79933	- 7					
	0,80970	0,80968	- 2					
	0,81020 <sup>1)</sup>	0,81023	+ 3					
	0,81985	0,82007	+ 22					
	0,82995	0,83018	+ 23					
	0,83015 <sup>1)</sup>	0,83033	+ 18					
	0,83950	0,83958	+ 8					
	0,83975 <sup>1)</sup>	0,83983	+ 8					
	0,84970	0,84990	+ 20					

Как видно из таблиц, поправки в большинстве случаев не превышают половины наименьшего деления и для одного только ареометра № 1231 для точек шкалы около 1,000 поправки достигают величины  $\pm 0,00040$  и  $\pm 0,00043$ .

По окончании основной работы по эталонированию была произведена серия контрольных наблюдений для 10 точек шкалы плотностей от 0,650 до 1,000 каждого набора ареометров. Эти наблюдения, как видно из таблиц II и III, дали результаты совершенно тождественные с ранее полученными.

<sup>1)</sup> Контрольные наблюдения.

Два ареометра: № 1204 и № 1225, по одному из каждого набора, были поверены в 1925 г. в Р. Т. Reichsanstalt'e и снабжены свидетельствами. Эти поправки приведены в таблице IV.

Таблица IV.

№№ ареометров	Отчет по шкале ареометра	Действительная плотность	Поправка
1204	0,79891	0,79900	+0,00009
	0,81298	0,81250	+12
	0,82339	0,82350	+11
	0,83541	0,83550	+9
	0,84885	0,84000	+15
1225	0,64888	0,64900	+12
	0,66003	0,66000	-3
	0,66948	0,66950	+2
	0,68005	0,68000	-5
	0,69750	0,69750	0

Большинство поправок по своей величине и знаку совпадают, или во всяком случае очень близки, с поправками, найденными в Главной Палате, отличаясь не более чем, на 0,00005, за исключением поправок для двух точек шкалы ареометра № 1204, где разница составляет 0,00011 и 0,00017. Контрольные наблюдения, произведенные в растворах соответствующей этим точкам плотности, подтвердили правильность поправок, найденных в Главной Палате.



## МЕЖДУНАРОДНЫЙ НОРМАЛЬНЫЙ ЭЛЕМЕНТ ВЕСТОНА.

А. К. Колосов.

Гальванический элемент представляет собою ряд разнородных соприкасающихся веществ, которые на границах однородности вызывают обмен или новое образование ионов, а при металлах—обмен электронами.

Согласно осмотической теории Нернста, этот обмен ионами и вызывает появление электродвижущей силы гальванического элемента. Гальванический элемент считается обратимым, если направление происходящих в нем процессов может быть изменено приложением бесконечно малой силы.

Нормальным элементом называется обратимый гальванический элемент, имеющий при постоянной температуре и давлении устойчивую электродвижущую силу и который может быть точно и легко воспроизведен по особым спецификациям. Электродвижущая или электровозбудительная сила нормального элемента является причиной гальванического тока в элементе и вызывает падение потенциала в нем. Если измерить электродвижущую силу и падение потенциала в одинаковых единицах, напр., в вольтах, то получается численное равенство обеих физических величин.

Нормальный элемент служит эталоном электродвижущей силы, посредством которого мы измеряем на компенсационном приборе неизвестную нам электродвижущую силу. Изготовленные нами нормальные элементы должны дать те же электродвижущие силы, какие имели нормальные элементы, электродвижущая сила которых была определена на Международной Конференции посредством серебряного вольтметра (кулометра). Требования, предъявляемые к нормальному элементу, как это видно из определения его, заключаются в том, что он должен быть точно и легко воспроизводим. Пригодность вновь изготовленного нормального элемента определяется тем, что он, будучи изготовлен по строго определенной спецификации, должен дать одинаковую и устойчивую электродвижущую силу. Второе требование относительно легкости изготовления нормального элемента имеет большое значение в практической электрометрии.

На Лондонской Международной Конференции по электрическим единицам и эталонам 1908 года ряд представителей государств высказался за вольт в качестве второй основной электрической единицы. При этом предложении считали, что практически можно гарантировать определенную электродвижущую силу нормальных элементов, приготовленных различными национальными метрологическими учреждениями в различное время. В дан-

ном случае не предполагалось изготовление нормальных элементов в одном учреждении, подобно прототипам килограмма и метра. Для изготовления нормального элемента должны быть даны легко воспроизводимые спецификации, так как в противном случае нормальный элемент не может быть предложен в качестве основной единицы.

Мы должны указать зависимости электродвижущей силы нормального элемента от температуры и давления и выслать влияние времени на его электродвижущую силу.

Электродвижущая сила нормального элемента изменяется с температурой, но мы можем точно определить его температурный коэффициент. Для определения электродвижущей силы элемента в промежутке между 0 и 40° С Международная Конференция рекомендует следующую формулу:

$$E_t = E_{20} - 0,0000406(t-20) - 0,00000095(t-20)^2 + 0,00000001(t-20)^3.$$

Давление оказывает ничтожное влияние на электродвижущую силу нормального элемента и поэтому мы можем не принимать его во внимание при наших условиях работы нормального элемента.

Производя определение электродвижущей силы правильно приготовленного нормального элемента через некоторые промежутки времени, мы получаем одинаковую электродвижущую силу, если производим сравнения при одинаковых условиях опыта. Наблюдая электродвижущую силу нормального элемента, который был изготовлен несколько лет, мы видим, что электродвижущая сила нормального элемента изменяется со временем. Дело в том, что нормальный элемент представляет собою систему, в которой совершается длительный процесс, по окончании которого электродвижущая сила должна упасть до нуля. Мы должны стремиться к тому, чтобы этот процесс в течение продолжительного промежутка времени не оказывал влияния на электродвижущую силу нормального элемента и, чем продолжительнее будет этот срок, тем более будет пригоден нормальный элемент. Однако, ни один нормальный элемент не может быть годен на неограниченное время.

Электродвижущая сила нормального элемента не должна являться функцией таких величин, влияние которых на электродвижущую силу нормального элемента не поддается количественному определению, напр., свойства поверхностей электродных материалов и предварительной термической обработки веществ, входящих в состав нормального элемента, т.-е. так называемой *Vorgeschichte* электродов. Конечное значение электродвижущей силы должно быть однородным, т.-е. не должно возникать в цепи нормального элемента метастабильных равновесий. В правильно построенном нормальном элементе гистерезисные влияния должны быть сведены до минимума.

Химическое средство в настоящее время отождествляется со свободной энергией. Измерение свободной энергии сводится к измерению электродвижущей силы. Для того, чтобы получить наиболее безупречные данные для свободной энергии методом электродвижущей силы, необходимо соблюсти нижеследующие условия.

1. Положительным электродом должен быть жидкий электрод, например, ртуть, так как твердые металлы, погруженные в раствор даже своей собственной соли, дают непостоянный потенциал.

2. За отрицательный электрод должен быть выбран металл, электродный потенциал которого должен быть по возможности больше по сравнению с ртутью. Нормальный электродный потенциал ртути равен  $-0,86$ , а кадмия:  $-0,42$ , так что в этом отношении выбор системы Cd—Hg вполне удовлетворителен.

3. Необходимо, чтобы выбранный металл имел хорошую растворимость в ртути. Гоу дает растворимость металлов в ртути выраженную в %: Cd—4,0%; Zn—1,8%; Pb—1,3%; Bi—1,2%; Sn—0,6% и Au—0,13%. Как видно из приведенных цифр, кадмий удовлетворяет поставленным требованиям лучше других металлов.

4. Употребляемая в качестве электролита соль должна иметь одну степень окисления. Выбранный Вестоном сернистый кадмий имеет одну степень окисления и кристаллизуется в великолепно определенных бесцветных кристаллах моноклинической системы с  $\frac{8}{9}$  частиц воды.

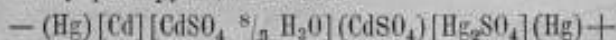
5. Деполаризатор должен иметь определенную степень растворимости. Выбранная сернистая закись ртути имеет такую степень растворимости, которая дает постоянный потенциал ртути, наблюдающийся только в электролитах, содержащих определенное количество ртути в растворе.

6. Необходимо постоянство электродного потенциала. Выбранная в качестве нормального электрода ртуть с насыщенным раствором  $Hg_2SO_4$  с прибавлением избытка соли сернистого кадмия с общим анионом, являясь электродом второго рода, обратимого для аниона, отличается постоянством.

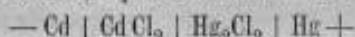
7. Соль электроположительного металла должна быть значительно более растворима, чем соответствующая соль электроотрицательного металла. Выбранные Вестоном  $CdSO_4$  и  $Hg_2SO_4$  вполне удовлетворяют поставленному условию.

8. Соли обоих металлов должны иметь общие анионы. В данном случае общим анионом является  $\bar{S}O_4$ .

9. Нормальный элемент должен содержать только один раствор, во избежание диффузионных процессов на границах электролитов. Для элементов Вестона выбран один раствор сернистого кадмия. Нормальный элемент Вестона, удовлетворяя всем поставленным требованиям, имеет следующую схему реагирующих веществ:



В 1884 году S. Czapski <sup>1)</sup>, предложил в качестве нормального элемента кадмиевый элемент, приготовленный по следующей схеме:



Эдвард Вестон <sup>2)</sup> в 1892 году приготовил элемент, который представляет нижеследующую гальваническую цепь:



Вместо употреблявшегося в элементе Кларка цинка и его соли, Эдвард Вестон взял кадмий и его сернистую соль и в качестве

<sup>1)</sup> Zeitschr. f. Physik. Chemie 21, 207 (1884).

<sup>2)</sup> The Electrician 30, 741 (1892).

электролита—раствор сернокислого кадмия, насыщенного при  $4^\circ$  и не содержащего избытка твердых кристаллов. Предложенный Вестоном элемент подвергался с 1900 года детальному изучению в National Physical Laboratory в Англии, в Physikalisch Technische Reichsanstalt в Германии, в Bureau of Standards в Америке и в других метрологических лабораториях. Результаты изучения были настолько благоприятны для элемента Вестона, что Международная Конференция по электрическим единицам и эталонам 1908 года нашла возможным рекомендовать его в качестве эталона международного вольта. В отличие от первоначальной схемы, предложенной Эдвардом Вестоном, рекомендованный Международной Конференцией элемент должен содержать насыщенный раствор сернокислого кадмия с постоянным избытком кристаллов  $\text{CdSO}_4 \cdot \frac{8}{3} \text{H}_2\text{O}$ .

С 1911 года применение нормального элемента Вестона приобретает международный характер, так как официально признается правительственными актами различных государств.

#### Кадмиевый элемент Вестона без твердого гидрата.

Обратимый кадмиевый элемент, имеющий насыщенный раствор сернокислого кадмия при  $4^\circ \text{C}$ , строго говоря, не является нормальным элементом, так как от действия тока изменяется концентрация электролита, а следовательно, и электродвижущая сила элемента.

Обратимый элемент с разбавленным раствором действует так же, как и свинцовый аккумулятор, представляющий собою обратимый элемент с серной кислотой в качестве электролита. Электродвижущая сила обратимого элемента с разбавленным раствором, как же как и аккумулятора, понижается при взятии тока.

Кадмиевый элемент с ненасыщенным электролитом употребляется большей частью при компенсационном методе, где имеются очень слабые токи, направление которых часто меняется, а вследствие этого изменение концентрации и электродвижущей силы очень незначительно. В случае прохождения сильного тока электродвижущая сила элемента с ненасыщенным раствором сильно и надолго изменяется, что не происходит у элемента с твердым гидратом.

Для того, чтобы лучше представить себе работу элемента с твердым гидратом и без него, рассмотрим это более подробно.

На рисунке 1 по оси абсцисс отложена температура, а по оси ординат—электродвижущая сила<sup>1)</sup>.

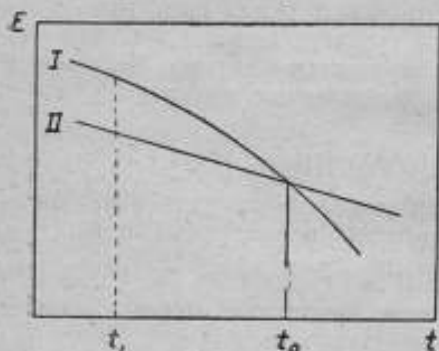


Рис. 1.

Кривая I представляет собою изменение электродвижущей силы нормального элемента с твердым гидратом, а кривая II—изменение электро-

<sup>1)</sup> D r. W. Jaeger. Die Normalelemente s. 35. Halle a-S.



движущей силы элемента с ненасыщенным раствором. Так как концентрация электролита увеличивается при повышении температуры, то элемент без твердого гидрата выше температуры насыщения  $t_0$  содержит разбавленный раствор. При температуре  $t_0$  раствор будет насыщен, а ниже  $t_0$  раствор будет пересыщен, если не произойдет выкристаллизовывания твердой соли. В этом случае при каждой температуре электролит имеет одинаковую концентрацию.

Кривая II является прямой линией. Дифференцируя уравнение Helmholtz'a:

$$U = A \left( E - T \frac{dE}{dT} \right),$$

получаем:

$$\frac{dU}{dT} = -AT \frac{d^2E}{dT^2}.$$

Если теплота образования и теплота растворения солей электролита от температуры не зависят, то  $\frac{dU}{dT} = 0$ , а  $\frac{dE}{dT} = \text{const}$  и электродвижущая сила в этом случае будет линейной функцией температуры.

Нормальный элемент с твердым гидратом имеет всегда насыщенный раствор и вследствие этого при каждой температуре имеет разную концентрацию. Концентрация электролита при более высоких температурах больше, чем при более низких. Так как элемент без твердого гидрата содержит при температуре выше, чем  $t_0$ , разбавленный раствор, то упругость пара раствора у этого элемента больше, чем у элемента с твердым гидратом. По известному уравнению Helmholtz'a:

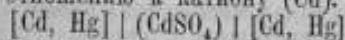
$$n(E_1 - E_2) = 0,86 \times 10^{-4} T \int_{t_1}^{t_2} m \frac{dp}{p} \text{ вольт}$$

мы также получаем, что выше температуры  $t_0$  у элемента без твердого гидрата электродвижущая сила больше, чем у элемента с твердым гидратом.

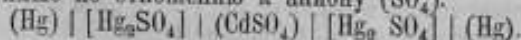
Действительно, мы знаем, что электродвижущая сила международного элемента Вестона при 20° равняется 1,01830 межд. вольта, а кадмиевый элемент без твердого гидрата имеет электродвижущую силу около 1,0186 межд. вольта.

Электродвижущая сила обоих элементов равна в месте пересечения кривых, но химическая энергия этих элементов не одинакова, и они имеют различные температурные коэффициенты. Температурный коэффициент  $T \frac{dE}{dT}$  будет разностью электролитических термосил, образующихся на обоих полюсах элементов между металлом данного полюса и соприкасающимся с ним раствором. Для того, чтобы исследовать образующиеся термосилы, изготовляют два рода элементов.

1) обратимые по отношению к катиону (Cd):



и 2) обратимые по отношению к аниону (SO<sub>4</sub>):



У нормального элемента Вестона термосила равна приблизительно 0,0004 вольта на градус, а температурный коэффициент, равный разности термосил, равен приблизительно 0,00004 вольта на градус. Отсюда, между прочим, вытекает необходимость держать оба полюса нормального элемента при одинаковых температурах, так как иначе термосилы не будут уничтожаться.

Нормальный элемент Вестона имеет отрицательный температурный коэффициент и концентрацию раствора сернокислого кадмия увеличивающуюся с температурой, поэтому абсолютная величина его температурного коэффициента больше, чем у кадмиевого элемента Вестона с насыщенным при 4°C раствором сернокислого кадмия. Температурный коэффициент последнего элемента равен приблизительно 0,00001 вольта на градус.

К недостаткам кадмиевого элемента Вестона без твердого гидрата нужно отнести понижение его электродвижущей силы с течением времени, вследствие повышения концентрации сернокислого кадмия. Дело в том, что переносимая с положительного полюса сернокислая закись ртути реагирует с кадмием на отрицательном полюсе с образованием сернокислого кадмия, который и производит увеличение концентрации сернокислого кадмия на этом полюсе.

Элемент с насыщенным сернокислым кадмием при 4°C должен быть в герметически запаянном сосуде, так как концентрация его не должна изменяться от испарения, а электродвижущая сила элемента, как мы знаем, сильно зависит от концентрации.

Для работ, требующих большой точности, необходимо употреблять международный нормальный элемент Вестона с твердым гидратом. В тех случаях, где необходимо производить измерения при изменяющейся температуре, целесообразнее применить элемент с насыщенным раствором  $\text{CdSO}_4$  при 4°C, но при непеременимом условии сравнения этого элемента до и после работы с международным нормальным элементом Вестона.

Воспроизводимость и устойчивость кадмиевого элемента Вестона значительно ниже международного нормального элемента.

Преимуществом элемента Вестона с раствором сернокислого кадмия при 4°C является очень небольшой температурный коэффициент и небольшое внутреннее сопротивление элемента (около 300 омов) и при этом постоянное. В международном нормальном элементе Вестона образующаяся корка твердого гидрата  $\text{CdSO}_4 \cdot \frac{8}{3} \text{H}_2\text{O}$  повышает сопротивление его до 600—1 000 омов, но иногда спекшиеся кристаллы сернокислого кадмия сильно повышают сопротивление, доходящее до 10 000 омов и больше.

### Энергетика нормального элемента Вестона.

В нормальном элементе происходит превращение химической энергии в электрическую. Все химические процессы, происходящие в нормальном элементе, связаны с выделением или поглощением тепла. Helmholtz указал, что при химических превращениях нужно отличать одну часть сил химического средства, переходящую в электрическую энергию, от другой части, переходящую только в теплоту. Первую Helmholtz назвал свободной энергией, а вторую связанной энергией.

Химическая энергия не имеет для единиц измерения своей независимой системы и может быть определена лишь после превращения ее в электрическую или тепловую энергию. Для измерения величин, характеризующих электрические явления, применяются системы тепловых и электрических единиц. Определив экспериментальным путем теплоту химических превращений в нормальном элементе, мы можем получить величину электрической энергии, зная тепловой эквивалент Джоуля.

H. v. Steinwehr<sup>1)</sup> произвел калориметрическое определение химической энергии нормального элемента Вестона и вычислил на основании этого его электродвижущую силу. В основу своих вычислений он положил одно из важнейших уравнений электрохимии, данное Helmholtz'em и выражаемое формулой:

$$U = A \left( E - T \frac{dE}{dT} \right) \dots \dots \dots (1)$$

Химическая энергия, обозначаемая через  $U$ , численно равняется теплоте химических реакций нормального элемента. Свободная энергия обозначается через  $A$  и для нормального элемента Вестона может быть вычислена по формуле:

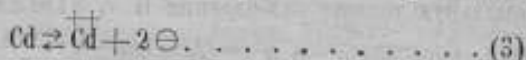
$$A = \eta \cdot n \cdot F = 0,2389 \times 2 \times 96494 = 46105 \dots \dots \dots (2)$$

Для того, чтобы вычислить теплоту химических реакций нормального элемента Вестона, необходимо детально изучить химические процессы, протекающие в нем и дающие ток.

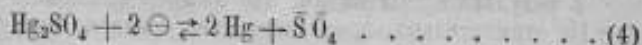
*Вычисление химической энергии нормального элемента Вестона калориметрическим путем.* Химическая реакция в элементе Вестона разбивается на две электрохимические реакции у одного и у другого электрода, т.-е. так наз. химическое дальное действие. Сумма этих двух электрохимических реакций дает одну химическую, а сумма электродных потенциалов дает электродвижущую силу элементов Вестона, так как в нем жидкостные потенциалы доведены до минимума.

У электродов нормального элемента Вестона происходят процессы, по существу своему отличающиеся от обычных химических реакций. Совершающиеся здесь процессы являются источниками не только новых ионов, но и электронов, электролизующих металл.

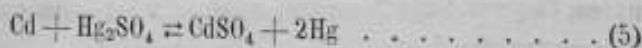
У кадмиевого анодного электрода идет электрохимическая реакция:



У ртутного катодного электрода идет другая электрохимическая реакция:



Сумма этих электрохимических реакций дает одну химическую реакцию:



<sup>1)</sup> Zeitschr. f. Physik. Chemie 88, 229 (1914).

Так как теплота образования сернокислого кадмия по Berthelot равняется 219 900 калорий, а сернокислой закиси ртути по Voret равняется 175 000 калорий, то разность теплообразования  $\text{CdSO}_4$  и  $\text{Hg}_2\text{SO}_4$  равняется 44 900 калорий при  $18^\circ\text{C}$ .

Для того, чтобы определить теплоту химических реакций, происходящих в растворе, необходимо определить дифференциальную теплоту растворения, т. е. теплоту, которая получается при растворении одной молекулы гидрата в большом количестве насыщенного раствора. Так как дифференциальная теплота растворения играет большую роль в теории нормальных элементов, то мы подробно остановимся на этом вопросе.

Н. v. Steinwehrg проделал в Physikalisch Technische Reichsanstalt'e большую экспериментальную работу, позволившую ему вычислить дифференциальную теплоту растворения  $\text{CdSO}_4 \cdot \frac{8}{3} \text{H}_2\text{O}$  при помощи калориметрического метода и путем термодинамических соотношений.

Вычисление дифференциальной теплоты растворения  $\text{CdSO}_4 \cdot \frac{8}{3} \text{H}_2\text{O}$  при  $18^\circ\text{C}$ . Воксбоом доказал<sup>1)</sup>, что дифференциальная теплота растворения составляет из разности интегральной теплоты растворения и дифференциальной теплоты разбавления, умноженной на разность содержания воды в растворе и гидрате, согласно формулы:

$$q' = \frac{\partial q}{\partial a} = Q_1 - (m - c) \frac{\partial Q_1}{\partial m} \dots \dots \dots (6)$$

$Q_1$  обозначает интегральную теплоту растворения гидрата до насыщения;  $m = \frac{b}{a}$ , где  $a$  — число молекул  $\text{CdSO}_4$ , содержащихся в растворе на  $b$  молекул воды;  $c$  — число молекул воды на одну молекулу сернокислого кадмия;  $\frac{\partial Q_1}{\partial m}$  — дифференциальная теплота разбавления, т. е. теплота химической реакции от добавления одной молекулы воды к большому количеству раствора.

Для вычисления дифференциальной теплоты растворения Н. v. Steinwehrg<sup>2)</sup> произвел в специально сконструированном им калориметре измерение тепловых эффектов от прибавления к насыщенному раствору сернокислого кадмия измеренных небольших количеств воды.

Интегральная теплота растворения  $\text{CdSO}_4 \cdot \frac{8}{3} \text{H}_2\text{O}$  в  $m - c$  молекул воды, где  $m = 15,17$  и  $c = 2,67$ , определена в 1067 калорий. Дифференциальную теплоту разбавления Н. v. Steinwehrg вычисляет в 162,8 калорий. Следовательно,  $q' = Q_1 - (m - c) \frac{\partial Q_1}{\partial m} = 1067 - 12,50 \times 162,8$  калорий = -967 калорий.

В результате, мы видим, что дифференциальная теплота растворения при  $18^\circ$  отрицательна, а, следовательно, согласно принципу Le Chatelier, отрицательной теплоте растворения соответствует повышение растворимости сернокислого кадмия с температурой, что и доказывается опытным путем.

<sup>1)</sup> Rec. des Trav. Chim. Pays-Bas 8, 122 (1899).

<sup>2)</sup> Zeitschr. f. Physik. Chemie 83, 235 (1914).



При помощи термодинамической формулы Н. v. Steinwehr определяет температурный коэффициент теплоты разбавления:

$$\frac{d \frac{\partial Q}{\partial m}}{dt} = \frac{dQ}{dt} = + 3,30 \frac{\text{кал.}}{\text{град.}}$$

Вычислим температурный коэффициент дифференциальной теплоты растворения  $\text{CdSO}_4 \cdot \frac{8}{3} \text{H}_2\text{O}$ . Исходя из дифференциальной теплоты растворения  $\text{CdSO}_4 \cdot \frac{8}{3} \text{H}_2\text{O}$ , мы можем написать формулу температурного коэффициента:

$$\frac{dq'}{dt} = \frac{\partial q'}{\partial m} \frac{dm}{dt} + \frac{\partial q'}{\partial t} \dots \dots \dots (7)$$

Для определения  $\frac{\partial q'}{\partial m}$  Jaeger<sup>1)</sup> дает следующую формулу:

$$\frac{\partial q'}{\partial m} = - (m - c) \frac{\partial^2 Q}{\partial m^2} \dots \dots \dots (8)$$

Н. v. Steinwehr определяет  $\frac{\partial q'}{\partial t}$  при помощи следующей формулы

$$\frac{\partial q'}{\partial t} = \nu_s \left[ S_s - S_L + \frac{M}{\nu_s} (m - c) \frac{\partial S_L}{\partial m} \right] \dots \dots \dots (9)$$

где:  $\nu_s$  — молекулярный вес сернокислого кадмия с  $\frac{8}{3} \text{H}_2\text{O}$

$\nu_A$  — „ „ „ „ безводного

$\nu_w$  — „ „ воды

$S_s$  — удельная теплота сернокислого кадмия с  $\frac{8}{3} \text{H}_2\text{O}$

$S_L$  — „ „ раствора сернокислого кадмия.

$$M = \nu_A + m \nu_w$$

Окончательно для  $\frac{dq'}{dt}$  получаем следующую формулу:

$$\frac{dq'}{dt} = - (m - c) \frac{\partial^2 Q}{\partial m^2} \frac{dm}{dt} + \nu_s \left( S_s - S_L + \frac{M}{\nu_s} (m - c) \frac{\partial S_L}{\partial m} \right) \dots (10)$$

Подставляя в формулу числовые значения, мы получаем величину температурного коэффициента:  $\frac{dq'}{dt} = - 63,15 \frac{\text{кал.}}{\text{град.}}$  при 18°C.

*Вычисление дифференциальной теплоты растворения  $\text{CdSO}_4 \cdot \frac{8}{3} \text{H}_2\text{O}$  при 4°C.* Определить дифференциальную теплоту растворения экспериментальным путем мы не можем, но Н. v. Steinwehr<sup>2)</sup> предложил вычислить теплоту этой реакции очень изящным методом из разности химической энергии кадмиевого элемента Вестона без твердого гидрата и нормального элемента с твердым гидратом.

Рассмотрим подробно процессы, протекающие в каждом кадмиевом элементе Вестона без твердого гидрата, когда берут ток от элемента, а также процессы в элементе с твердым гидратом, через который проходит

<sup>1)</sup> Dr. W. Jaeger. Die Normalelemente.

<sup>2)</sup> Zeitschr. f. Physik. Chemie 94, 6 (1920).

постоянный ток в обратном по отношению к первому элементу направлении.

*Элемент Вестона без твердого гидрата* (элемент дает ток).

1. При разряде нормального элемента в амальгаме происходят следующие процессы:  $\frac{n}{n-d}$  молекул твердой амальгамы  $[Cd, d Hg]$  разлагаются на  $\frac{n}{n-d}$  молекул  $[Cd]$  и  $\frac{nd}{n-d}$  молекул  $(Hg)$ , при чем получается теплота, равная  $-\frac{n}{n-d} Q'$ .

2. Полученные при разложении твердой амальгамы  $\frac{nd}{n-d}$  молекул  $(Hg)$  соединяются с  $\frac{d}{n-d}$  молекул  $[Cd]$  в жидкую амальгаму  $\frac{d}{nd}$   $(Cd, n Hg)$ , при чем выделяется теплота равная  $+\frac{d}{n-d} Q''$ .

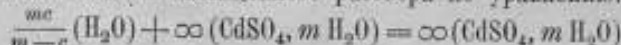
3. Полученная при разложении и не вошедшая в реакцию образования жидкой амальгамы одна молекула  $[Cd]$  реагирует с одной молекулой  $[Hg_2SO_4]$  по уравнению:  $Cd + Hg_2SO_4 = CdSO_4 + 2Hg$ , при чем выделяется теплота, равная разности теплот образования  $Hg_2SO_4$  и  $CdSO_4$ .

4. Образовавшаяся при последней реакции одна молекула ангидрида сернокислого кадмия растворяется в большом количестве насыщенного раствора сернокислого кадмия без твердого гидрата по уравнению:  $[CdSO_4] + \infty (CdSO_4, m H_2O) = \infty (CdSO_4, m H_2O)$ , при чем выделяется теплота, равная  $+\frac{\partial w_A}{\partial a}$ .

*Элемент Вестона с твердым гидратом* (через элемент проходит ток).

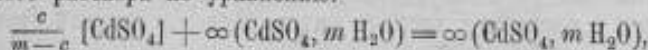
1. При заряде нормального элемента постоянным током  $\frac{m}{m-c}$  молекул гидрата  $(CdSO_4, c H_2O)$  разлагаются на  $\frac{m}{m-c} [CdSO_4]$  и  $\frac{mc}{m-c}$  молекул  $(H_2O)$ , при чем поглощается теплота  $-\frac{m}{m-c} H$ .

2. Полученные при разложении  $\frac{mc}{m-c}$  молекул  $(H_2O)$  соединяются с большим количеством насыщенного раствора по уравнению:



при чем выделяется теплота, равная  $+\frac{mc}{m-c} \cdot \frac{\partial w_A}{\partial b}$ .

3. Из  $\frac{m}{m-c}$  молекул ангидрида  $(CdSO_4)$ , полученных при разложении гидрата,  $\frac{c}{m-c}$  молекул  $[CdSO_4]$  растворяются в большом количестве насыщенного раствора по уравнению:



при чем выделяется теплота, равная  $+\frac{c}{m-c} \cdot \frac{\partial w_A}{\partial a}$ .

4. Оставшаяся при разложении гидрата одна молекула  $[CdSO_4]$  реагирует с двумя молекулами  $(Hg)$  по уравнению  $CdSO_4 + 2Hg = Cd + Hg_2SO_4$ , при чем поглощается теплота, равная разности теплот образования  $CdSO_4$  и  $Hg_2SO_4$ .

5. В амальгаме при прохождении постоянного тока  $\frac{d}{n-d}$  молекул с жидкой амальгамой  $(Cd, n Hg)$  разлагаются на  $\frac{d}{n-d}$  молекул  $[Cd]$  и  $\frac{nd}{n-d}$  молекул  $(Hg)$ , при чем поглощается теплота равная  $-\frac{n}{n-d} Q'$ .

6. Полученные  $\frac{nd}{n-d}$  молекул  $(Hg)$  при разложении жидкой амальгамы соединяются с  $\frac{n}{n-d}$  молекул  $[Cd]$  и образуют твердую амальгаму  $\frac{n}{n-d} [Cd, n Hg]$ , при чем выделяется теплота, равная  $+\frac{n}{n-d} Q'$ .

Принимая во внимание все теплоты химических реакций, происходящих в рассматриваемых нами двух элементах, и обозначая изменения внутренней энергии нормального элемента с твердым гидратом через  $U'$ , а без твердого гидрата — через  $U''$ , получаем следующую формулу:

$$U'' - U' = \frac{\partial w_{\Lambda}}{\partial \alpha} - \frac{m}{m-c} H + \frac{mc}{m-c} \cdot \frac{\partial w_{\Lambda}}{\partial b} + \frac{c}{m-c} \cdot \frac{\partial w_{\Lambda}}{\partial \alpha} =$$

$$= -\frac{m}{m-c} \left( H - c \frac{\partial w_{\Lambda}}{\partial b} - \frac{\partial w_{\Lambda}}{\partial \alpha} \right) \dots \dots \dots (11)$$

Выражение, находящееся в скобках и взятое с обратным знаком, есть дифференциальная теплота растворения, согласно формул, выведенных Н. v. Steinhilber'ом, и таким образом, получаем выражение:

$$U'' - U' = \frac{m}{m-c} q' \dots \dots \dots (12)$$

Изменение внутренней энергии нормального элемента с твердым гидратом и без него посредством формулы Helmholtz'a будет выражаться следующими уравнениями:

$$U' = E' - T \frac{dE'}{dT} \text{ и } U'' = E'' - T \frac{dE''}{dT} \dots \dots \dots (13)$$

Подставив значение  $U'$  и  $U''$  в формулу (12), находим выражение для дифференциальной теплоты растворения:

$$q' = \frac{m-c}{m} \left( E'' - T \frac{dE''}{dT} - E' + T \frac{dE'}{dT} \right) \dots \dots \dots (14)$$

В точке насыщения при  $4^{\circ}C$  электродвижущая сила нормального элемента с твердым гидратом и без него будут равны, т.е.  $E' = E''$ . Далее, температурный коэффициент нормального элемента, насыщенного при  $4^{\circ}C$ , равняется 0, т.е.  $\frac{dE'}{dT} = 0$ . Итак,  $q' = \frac{m-c}{m} T \frac{dE''}{dT}$  ват.

Для вычисления температурного коэффициента элемента с твердым гидратом при 4°С Н. v. Steinwehr применил три формулы, при чем получились следующие результаты:

$$1) T \frac{dE'}{dT} = -38,52 \text{ кал.} \dots \dots \dots (\text{Wolff})$$

$$2) T \frac{dE'}{dT} = -219,7 \text{ кал.} \dots \dots \dots (\text{Jaeger, Wachsmuth})$$

$$3) T \frac{dE'}{dT} = -221,45 \text{ кал.} \dots \dots \dots (\text{Smith})$$

Для окончательного вычисления  $q'$  необходимо знать зависимость растворимости сернистого кадмия от температуры, для вычисления которой Н. v. Steinwehr дал следующую формулу:

$$m = 15,3023 - 3,698 \times 10^{-3} t - 2,547 \times 10^{-4} t^2 \dots (15)$$

В этой формуле  $m$  обозначает число молекул воды на 1 молекулу сернистого кадмия.

Как видно из таблицы 1, совпадение наблюдаемых и вычисленных по этой формуле величин растворимости превосходное.

$$\text{Итак, } q' \text{ равняется } \frac{15,301 - 2,667}{15,301} \times (-38,52) = -31,81 \text{ кал. (Wolff).}$$

$$q' = 0,8257 \times (-219,7) = -181,41 \text{ кал.} \dots \dots \dots (\text{Jaeger})$$

$$q' = 0,8257 \times (-221,45) = -182,85 \text{ кал.} \dots \dots \dots (\text{Smith})$$

Применяя формулу растворения сернистого кадмия, получаем минимум растворимости сернистого кадмия при  $-7^{\circ},3$ , а следовательно, дифференциальная теплота растворения при 4°С должна быть незначительна по величине и иметь отрицательный знак.

Таблица 1.

## Растворимость сернистого кадмия.

Автор <sup>1)</sup>	Температура в град.	Число граммов безводной соли на 100 мг воды	m—молекулы H <sub>2</sub> O на 1 мол. безводной соли	
			m наблюд.	m вычисл.
К. и С. . . . .	0	75,52	15,927	15,331
" " . . . . .	5	75,63	15,301	15,229
" " . . . . .	7	75,73	15,295	15,284
" " . . . . .	9	75,85	15,261	15,267
" " . . . . .	13	76,04	15,223	15,227
Н. v. Steinwehr	15	76,12	15,207	15,205
" " . . . . .	16	76,18	15,195	15,193
" " . . . . .	18	76,32	15,167	15,168
" " . . . . .	19	76,39	15,153	15,155
" " . . . . .	25	76,81	15,070	15,068
G. A. Hallett .	40	78,5	—	—
" " . . . . .	74	78,6	—	—

<sup>1)</sup> Н. v. Steinwehr. Zeitschr. f. Physik. Chemie 88, 248 (1914) и G. A. Hallett. Phys. Rev. 33, 257 (1911).



Дифференциальная теплота растворения, вычисленная П. в. Steinwehrg'ом, как мы уже видели, равняется —967 кал. при 18°, по формуле Jaeger'a—181,4 кал. при 4° и по формуле растворимости сернокислого кадмия равна нулю калорий при —7,3°.

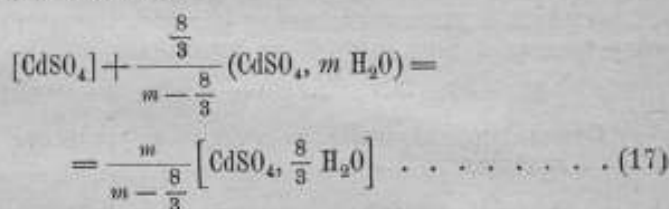
П. в. Steinwehrg дает следующую интерполяционную формулу зависимости  $q'$  от  $t$ :

$$q' = -70,95 - 21,28 t - 1,584 t^2 \text{ кал.} \dots (16)$$

Вычисленная из этой формулы температура, при которой теплота химической реакции есть нуль, равняется —6°,7, что очень близко подходит к найденной температуре —7°,3 из кривой растворимости сернокислого кадмия.

Температурный коэффициент теплоты растворения  $\text{CdSO}_4 \cdot \frac{8}{3} \text{H}_2\text{O}$  при 18°, вычисленный по этой формуле, дает величину —78,3 кал./град., что хорошо согласуется с вычисленной ранее величиной, равной —63,15 кал./град.

Вычисление теплоты химических реакций в растворе нормального элемента Вестона. Е. Соһен<sup>1)</sup> установил, что ангидрид  $[\text{CdSO}_4]$ , образующийся при прохождении тока в нормальном элементе Вестона с твердым гидратом, реагирует с насыщенным раствором  $(\text{CdSO}_4)$ , согласно следующего уравнения:



Для простоты расчета Е. Соһен предположил, что процессе протекает следующим образом. Прежде всего, из большого количества насыщенного раствора выделяется  $\frac{8}{3}$  молекулы  $\text{H}_2\text{O}$  с поглощением тепла, равного  $-\frac{8}{3} \frac{\epsilon Q_i}{\epsilon m}$ . Полученная вода соединяется затем с ангидридом  $[\text{CdSO}_4]$ , полученного электрохимическим процессом, в гидрат  $\text{CdSO}_4 \cdot \frac{8}{3} \text{H}_2\text{O}$  с выделением теплоты гидратации  $H$ . Наконец,  $\frac{c}{m - c}$  молекул гидрата  $[\text{CdSO}_4 \cdot \frac{8}{3} \text{H}_2\text{O}]$  выкристаллизовываются из насыщенного раствора с поглощением тепла, равного:

$$-\frac{\frac{8}{3}}{m - \frac{8}{3}} \cdot \frac{\epsilon Q_i}{\epsilon A}$$

<sup>1)</sup> Zeitschr. f. Physik. Chemie. 34, 62 und 612. (1910).

Сумма этих трех теплот равна теплоте химических реакций данного E. Cohen'ом уравнения (17).

Теплота гидратации  $\left[ \text{CdSO}_4 \cdot \frac{8}{3} \text{H}_2\text{O} \right]$  по Thomsen'у<sup>1)</sup>:  $H = 8080$ .

H. v. Steinwehr, как мы уже видели, нашел, что  $\frac{\partial Q_i}{\partial m}$  равняется  $+162,8$  кал., а  $\frac{\partial q}{\partial h}$  равняется  $-967$  кал.

Итак,

$$H - \frac{8}{3} \frac{\partial Q_i}{\partial m} - \frac{\frac{8}{3}}{m - \frac{8}{3}} \cdot \frac{\partial q}{\partial h} =$$

$$= 8080 - 434,6 + 206,6 = 7852 \text{ кал.}$$

*Вычисление теплоты химической реакции в амальгаме нормального элемента Вестона.* E. Cohen<sup>2)</sup> определяет теплоту химических реакций при образовании амальгамы из кадмия и ртути следующим образом: он берет цепь  $[\text{Cd}] - (\text{CdSO}_4) \text{ раствор} - (\text{Hg}, \text{Cd})$  (амальгама с содержанием 14,3% кадмия) и находит, что при температуре равной 0° электродвижущая сила равняется 0,05577 вольта, а при температуре равной 25° электродвижущая сила равняется 0,04993 вольта. Средний температурный коэффициент будет равен 0,000233 вольта, считая, что он постоянен в промежутке между 0° и 25°. Определим электродвижущую силу указанной цепи при 18° по уравнению:

$$E_{18} = E_{25} + (25 - 18) \times 0,000233 = 0,0515 \text{ вольта.}$$

Подставляя найденные величины в уравнение Gibbs — Helmholtz'a получаем:

$$Q_{18} = A \left( E_{18} - T \frac{dE}{dT} \right) = 46105 \times (0,0515 + 291 \times 0,000233) = 5551 \text{ кал.}$$

Итак, теплота всех химических реакций нормального элемента Вестона составляется из следующих теплот:

$$U = 44900 + 7852 - 5551 = 47201 \text{ кал.}$$

*Вычисление химической энергии нормального элемента Вестона путем электродвижущих сил.* Для вычисления химической энергии:  $U = A \left( E - T \frac{dE}{dT} \right)$  воспользуемся формулам Wolff'a и Jaeger'a.

$$1. E_t = E_{20} - 0,0000406 (t - 20) - 0,00000065 (t - 20)^2 + 0,00000001 (t - 20)^3 \dots \dots \dots \text{(Wolff)}$$

$$2) E_t = E_{20} - 0,000038 (t - 20) - 0,00000065 (t - 20)^2 \dots \dots \text{(Jaeger).}$$

<sup>1)</sup> Thermochemische Untersuchungen s. 284.

<sup>2)</sup> Zeitschr. f. Physik. Chemie 34, 617 (1910).

Применяя формулу Wolffa при 18°, получаем:

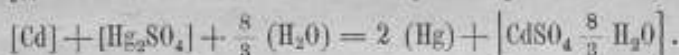
$$U = 46105 (1,018377 + 0,010738) = 47447 \text{ кал.}$$

По формуле Jaeger'a:

$$U = 46105 (1,018374 + 0,01030) = 47427 \text{ кал.}$$

Вышеприведенные результаты указывают на очень хорошее согласование вычислений химической энергии различными путями, принимая во внимание всю сложность определения теплот химических реакций, происходящих в нормальном элементе.

*Вычисление температурного коэффициента.* Для того, чтобы установить согласованность определения химической энергии нормального элемента термодимическим и электрическим путями при различных температурах, необходимо вычислить температурный коэффициент. Сначала вычислим термодимическим путем. Температурный коэффициент равняется разности удельных теплот до и после следующей реакции:



Обозначаем температурный коэффициент этой реакции через  $\frac{dU}{dT}$  и вычисляем его по следующей формуле:

$$\begin{aligned} \frac{dU}{dT} = & (SM) \text{Cd} + (SM) \text{Hg}_2\text{SO}_4 + c (SM)_{\text{H}_2\text{O}} - 2 (SM) \text{Hg} - \\ & - (SM) \text{CdSO}_4 \frac{8}{3} \text{H}_2\text{O} - c \frac{\frac{\partial Q_i}{\partial m}}{\frac{\partial T}{\partial T}} + \\ & + \frac{c}{m-c} \cdot \frac{\partial q}{\partial h} \dots \dots \dots (18) \end{aligned}$$

В приведенной формуле  $S$  обозначает удельную теплоту,  $M$  — молекулярный вес вещества, принимающих участие в реакции и определяемых из таблицы 2.

Таблица 2.

Вещество	Удельная теплота	Молекулярный вес	Молекулярная теплота
Cd . . . . .	0,05496	112,40	6,177 <sub>5</sub>
Hg <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> . . . . .	0,06237	495,1	30,941 <sub>3</sub>
$\frac{8}{3}$ H <sub>2</sub> O . . . . .	1,0000	48,04	48,04
2Hg . . . . .	0,03337	400,00	13,308
CdSO <sub>4</sub> $\frac{8}{3}$ H <sub>2</sub> O . . . . .	0,2225	256,51	57,073 <sub>5</sub>

Выражение  $c \frac{\partial Q_i}{\partial m \partial T}$  есть температурный коэффициент теплоты разбавления и, как мы уже знаем, равняется  $2,67 \times 3,30$ .

Выражение  $\frac{c}{m-c} \frac{\partial q}{\partial h}$  есть дифференциальная теплота растворения, равная:

$$\frac{2,67}{15,17 - \frac{8}{3}} \times 63,15 = 13,47_4.$$

Итак,

$$\frac{dU}{dT} = 19,45_2 \text{ кал./град.}$$

Затем вычисляем температурный коэффициент электрическим путем по уравнению Gibbs—Helmholz'a:

$$\frac{dU}{dT} = - \Delta T \frac{d^2 E}{dT^2}.$$

Применяя формулу Wolffa, получаем:

$$\frac{dU}{dT} = 46105 \times 291 \times 2,02 \times 10^{-6} = 27,10 \text{ кал./град.}$$

По формуле Jaeger'a:

$$\frac{dU}{dT} = 46105 \times 291 \times 1,30 \times 10^{-6} = 17,44 \text{ кал./град.}$$

Величина температурного коэффициента, вычисленного по формуле Jaeger'a, очень близко подходит к величине температурного коэффициента, вычисленного термодинамическим путем.

### Химические вещества, употребляемые для приготовления нормальных элементов Вестона, и способы получения их.

#### В о д а.

Невская вода содержит следующие посторонние вещества: 1) значительные количества растительных и других коллоидальных веществ; окисляемость воды, выраженная в миллиграммах кислорода, колеблется около 8; 2) незначительное количество минеральных солей; сухой остаток около 0,05 г в литре воды; 3) незначительное количество аммиака, около 0,10 мг в литре воды и 4) незначительное количество взвешенных веществ. Невская вода подвергается очистке на фильтрах водопроводной станции и, кроме того, вода хлорируется, что нужно иметь в виду при ее очистке.

Вода из водопроводного крана лаборатории подвергается первой дистилляции в обыкновенном перегонном аппарате Либиха. В полученный дистиллят прибавляется марганцово-кислый калий, едкий барит и он нагревается в большой стеклянной колбе. Пары охлаждаются в длинном холодиль-



нике из иенского стекла и полученная вода собирается в колбе также из иенского стекла. Значительная часть первого и конечного дистиллята удаляется и собирается только средний дистиллят. Окончательная перегонка воды производится в платиновом кубе. Платиновый куб, изготовленный фирмой *Johnson Matthey Comp. Melters Refiners Manufacturers of Platinum* в Лондоне, цилиндрической формы высотой 210 мм и диаметром 130 мм. Куб имеет длинную трубку из платины диаметром 13 мм и длиной 900 мм, служащую холодильником (рис. 2).

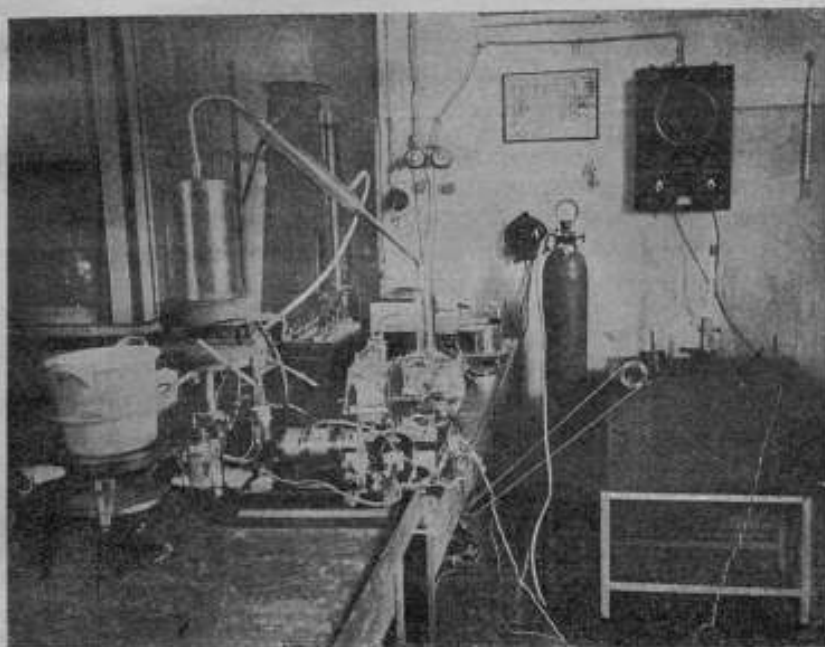


Рис. 2.

Полученный после перегонки в платиновом кубе средний дистиллят сохраняется в больших бутылках из иенского стекла и применяется для работ при изготовлении нормальных элементов.

Перегнанная вода испытывается нами на нейтральность под-эозиновой реакцией и определяется электропроводность каждого дистиллята. Определение электропроводности воды производится при помощи моста в форме мраморного вала по *Kohlrausch*'у<sup>1)</sup>. Для получения переменного тока различной частоты употребляется индукционный аппарат со ртутным прерывателем. Испытание воды производится в сосуде *Аррениуса*, у которого предварительно определена электролитическая емкость, при чем, для уменьшения поляризации, платиновые электроды были покрыты платиновой

<sup>1)</sup> F. Kohlrausch и L. Holborn. *Das Leitvermögen der Elektrolyte*, Leipzig.

черню, увеличивающей поверхность электродов. Платинирование производилось электролизом раствора Бурльбаум-Думмера <sup>1)</sup> при напряжении 4 вольта и плотности тока около 0,03 ампера на 1 кв. см электрода. Чистая вода имеет огромный температурный коэффициент; по Kohlrausch <sup>2)</sup> электропроводность  $\kappa$  абсолютно чистой воды:

при 0°	равняется	$0,01 \times 10^{-6}$
« 18°	«	$0,04 \times 10^{-6}$
« 50°	«	$0,18 \times 10^{-6}$ .

Поэтому все определения электропроводности мы производим в термостате. Мы пользовались большим водным термостатом с механической мешалкой, электрическим нагревателем, электромагнитным терморегулятором и особой конструкции ртутным термометром, позволяющим устанавливать температуру в термостате в пределах от 0 до 50°, или толуоловым терморегулятором. Электропроводность воды, взятой из водопроводного крана, колеблется от 3 до  $6 \times 10^{-6}$ . После первой перегонки — от 3 до  $5 \times 10^{-6}$ , а после второй перегонки — около  $2 \times 10^{-6}$ . Электропроводность воды после перегонки в платиновом кубе колеблется от 1,2 до  $1,5 \times 10^{-6}$ .

### Ртуть.

Ртуть имеет блестящий серебристо-белый цвет, плотность 13,5956 <sup>3)</sup>, кипит при температуре 357°,2, а при температуре — 38°,87 превращается в ковкий металл. Ртуть растворяется в крепкой азотной и серной кислотах; соляная кислота и щелочи на нее не действуют.

Употребляемая в лаборатории ртуть может содержать более или менее значительные количества следующих металлов: меди, цинка, железа, свинца, кадмия, никкеля, висмута, серебра, а иногда и других металлов.

Ртуть не подвергается окислению и остается блестящей при пропускании воздуха при обыкновенной температуре, но достаточно растворить в ртути незначительное количество каких-либо металлов, чтобы поверхность ее потускнела. Нечистая ртуть начинает тянуться, прилипает к стеклу и легко разбивается на ряд мелких шариков, трудно соединяемых друг с другом. Малейшие следы примеси металлов оказывают сильное влияние на электродвижущую силу нормального элемента, поэтому необходимо получить ртуть с возможно высшей степенью чистоты.

Наиболее распространенным, но тут же надо сказать, наименее совершенным способом является хорошо известный всем способ очистки ртути

<sup>1)</sup> Раствор состоит из 3 г хлорной платины и 0,03 г уксусно-кислого свинца в 100 мл воды.

<sup>2)</sup> О. Д. Хвольсон. Курс физики. Т. 4, стр. 542.

<sup>3)</sup> Исследование Jaeger'a и H. v. Steinweh'ra в Physikalisch-Technische Reichsanstalt'e двух изотопов ртути показало, что плотность одного изотопа меньше обыкновенной ртути на 0,002, а другого изотопа тяжелее на 0,0011. (Zeitschr. f. Physik 9,201 (1922).)

в приборе Meuser'a <sup>1)</sup> или в приборе Hildebrand'a <sup>2)</sup>. Как в том, так и в другом приборе не удастся полностью удалить из ртути растворимые в ней металлы. Раствор действует только на поверхность ртутных шариков и, следовательно, действие его ограниченное. Эти способы могут применяться, если не требуется особо чистой ртути, но, по нашему мнению, все же лучше производить очистку ртути нижеследующими методами:

*Электрохимический метод очистки ртути* <sup>3)</sup>. Прибор для электролитической очистки ртути изображен на рис. 3.

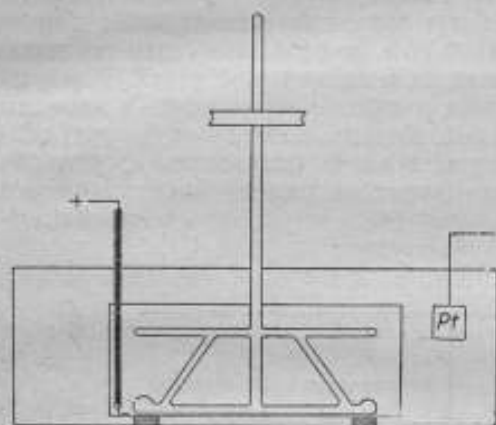


Рис. 3.

Прибор состоит из большой и высокой кристаллизационной чашки, в которую вставлена другая чашка меньшего диаметра и меньшей высоты. По середине внутренней чашки устанавливается стеклянная мешалка, приводимая в движение мотором. Мешалка имеет две поперечных лопасти, из которых одна перемешивает ртуть, а другая — раствор. Подлежащая очистке ртуть наливается во внутреннюю чашку и посредством платиновой проволоки, впаянной в стеклянную трубку, наполнен-

ную ртутью, соединяется с положительным полюсом батареи. Отрицательным электродом служит платиновая пластинка, которая подвешивается сверху в кольцевом пространстве, образуемом боковыми стенками чашек. Электролитом служит двухпроцентный раствор азотной кислоты, которого берется по крайней мере в 4 раза больше по объему, чем ртути, подлежащей очистке. В последнее время National Physical Laboratory рекомендует применять электролит, содержащий 5 частей по весу  $\text{HNO}_3$ , 5 частей  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и 90 частей воды. Плотность тока берется приблизительно 0,2 ампера на 1 кв. см. анодной поверхности. Ртуть и раствор азотной кислоты во время электролиза энергично перемешиваются. Время, необходимое для окончания очистки ртути, зависит от чистоты и количества исходной ртути.

Сущность описанного метода заключается в следующем. На границах металла и электролита происходит падение потенциала, которое определено для многих металлов и называется нормальным электродным потенциалом. Нормальные потенциалы связаны с электролитической

<sup>1)</sup> Zeitschr. f. Anal. Chemie 2,241.

<sup>2)</sup> J. Am. Chem. Soc. 31. 233.

<sup>3)</sup> International Conference of Electrical Units and Standards 1908. Appendix to the Report.

упругостью растворения, т.-е. силой, заставляющей металл переходить в ионное состояние, следующим известным уравнением Нернста:

$$E = \frac{RT}{n \cdot F} \lg_{\text{max}} \frac{P}{p}.$$

В настоящее время величины нормальных электродных потенциалов найдены для многих металлов и только для некоторых приходится ограничиваться вычислением их приблизительной величины. Из нижеследующей таблицы 3<sup>1)</sup> видно положение, занимаемое электродным потенциалом ртути. При электролизе у анода будут образовываться катионы, дающие наибольшие электродные потенциалы, т.-е. как-раз потенциалы тех металлов, которые больше всего встречаются в лабораторной ртути. В результате электролиза в ртути остаются только серебро, золото и элементы платиновой группы, т.-е. те металлы, которые имеют высокую точку плавления и могут быть удалены последующей дистилляцией ртути. По окончании электролиза ртуть отмывается от кислоты дистиллированной водой и сушится.

Таблица 3.

Электрохимическая реакция	$E$ наблюденная	$E$ вычисленная
$\frac{1}{2} (\text{Mn} \rightarrow \overset{++}{\text{Mn}}) \dots \dots$	1,08	1,06
$\frac{1}{2} (\text{Zn} \rightarrow \overset{++}{\text{Zn}}) \dots \dots$	0,76	0,74
$\frac{1}{2} (\text{Fe} \rightarrow \overset{++}{\text{Fe}}) \dots \dots$	0,5	0,48
$\frac{1}{2} (\text{Cd} \rightarrow \overset{++}{\text{Cd}}) \dots \dots$	0,42	0,41
$\frac{1}{2} (\text{Ni} \rightarrow \overset{++}{\text{Ni}}) \dots \dots$	0,2	0,33
$\frac{1}{2} (\text{Pb} \rightarrow \overset{++}{\text{Pb}}) \dots \dots$	0,12	0,04
$\frac{1}{2} (\text{H}_2 \rightarrow \overset{+}{2\text{H}}) \dots \dots$	0,00	0,00
$\frac{1}{2} (\text{Cu} \rightarrow \overset{++}{\text{Cu}}) \dots \dots$	-0,34	-0,34
$\frac{1}{2} (\text{Hg} \rightarrow \overset{++}{\text{Hg}}) \dots \dots$	0	-0,86
$\text{Ag} \rightarrow \overset{+}{\text{Ag}} \dots \dots$	-0,8	-1,11
$\text{Au} \rightarrow \overset{+}{\text{Au}} \dots \dots$	-	-1,5

<sup>1)</sup> Все приведенные в таблице величины нормальных потенциалов, за исключением Hg и Au, взяты из „Электрохимии“ акад. В. А. Кистяковского.

*Очистка ртути под уменьшенным давлением.* Обычно принято производить перегонку ртути в аппарате типа Weinhold'a под вакуумом и в настоящее время этот способ еще применяется в различных лабораториях. Работа, произведенная некоторыми исследователями и особенно G. A. Hulett'ом, показала, что перегонка ртути в вакууме не всегда дает положительные результаты. Испытание, произведенное в нашей лаборатории, приводит нас к тем же результатам.

G. A. Hulett брал чистую ртуть и перегонял некоторое время в приборе Weinhold'a, пока ртутные пары не вытесняли весь воздух из прибора. После этого в приемный резервуар была введена цинковая амальгама: одна часть цинка по весу на 1000 частей ртути. Амальгама подвергалась перегонке в приборе Weinhold'a и испытание первого дистиллята обнаружило содержание в нем одной части цинка на 10<sup>6</sup> частей ртути. Перегоняемая ртуть обогащалась при перегонке цинком и наконец цинк стал выделяться в твердом виде над амальгамой. После этого был взят дистиллят, испытание которого обнаружило содержание в 10<sup>6</sup> весовых частях ртути одной части цинка. G. A. Hulett пытался приблизительно подсчитать парциальное давление цинка в перегонном аппарате, пользуясь формулой:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{P_1 \times D_1}{P_2 \times D_2},$$

где  $Q_1$  и  $Q_2$  — относительное количество цинка и ртути в дистилляте,  $P_1$  — искомая величина давления паров цинка,  $D_1$  — плотность паров цинка,  $P_2$  — парциальное давление паров ртути и  $D_2$  — плотность паров ртути. G. A. Hulett нашел, что парциальное давление паров цинка при температуре 200°, т. е. ниже точки плавления его почти на 20°, равняется 0,00006 мм. Отсюда вытекает, что амальгама цинка имеет заметное давление при температуре 200° и, следовательно, перегонкой в кубе Weinhold'a нельзя удалить совершенно цинка из ртути, или для этого нужно произвести по крайней мере десять перегонок. Kraft<sup>1)</sup> нашел, что кадмий начинает испаряться при 156° в вакууме, цинк — при 184°, висмут — при 268° и свинец — при 335°. Можно утверждать, что если мы имеем ртуть, загрязненную цинком, кадмием, то ни в пустоте, ни при атмосферном давлении (воздух быстро замещается парами ртути) мы не можем целиком удалить эти металлы. Широкое распространение перегонки ртути в пустоте может быть объяснено только тем, что перегонке подвергаются обычно ртуть незагрязненная легкими металлами, или тем, что не всегда требуется особенно чистая ртуть, а также и тем обстоятельством, что перегоняемая ртуть не всегда исследуется на содержание примесей.

Чувствительным методом для обнаружения незначительных примесей металлов может служить измерение электродвижущих сил. Примесь цинка оказывает большое влияние на величину электродвижущей силы ртутного электрода. G. A. Hulett составил гальванический элемент, одним электродом которого была чистая ртуть, а другим — разбавленная амальгама, а электролитом служил молекулярный раствор KCl с насыщенным рас-

<sup>1)</sup> Ber. d. Dent. Ges. 38. 255 (1905).



твором  $Hg_2Cl_2$ . Этим методом можно обнаружить одну часть цинка в десяти миллиардах чистой ртути ( $1:10^{10}$ ).

Г. А. Huletт нашел, что если через амальгаму при перегонке пропускать пузырьки воздуха, то происходит окисление паров легко окисляющихся металлов, например, цинка, кадмия, свинца, меди и др., тогда как пары ртути не окисляются. Ртуть наливают в перегонную колбу и перегоняют при давлении воздуха в 25 мм ртутного столба при  $200^\circ$ . Воздух в виде мелких пузырьков проходит через толщу ртути, но окисление металлических примесей происходит только тогда, когда они находятся в состоянии пара. Окисление металлического пара произойдет, если упругость диссоциации его окиси будет меньше парциального давления кислорода, поддерживаемого в перегонном кубе. Окислы серебра, золота и металлов платиновой группы в этих условиях не образуются, но при температуре  $200^\circ$  парциальное давление паров этих металлов незначительно. Однако, благородные металлы при перегонке ртути переходят в дистиллят в большем количестве, чем можно было ожидать, судя по величине давления их паров. Riesenfeld и Haase<sup>1)</sup> дают таблицу, в которой приводится число грамм металлов, перегоняющихся на 1 г ртути, и температуры, при которых давление паров этих металлов равно 760 мм ртути.

Металлы	Концентрация в дистилляте	T
Ag . . . . .	$3 \times 10^{-7}$	1950°
Au . . . . .	$27 \times 10^{-8}$	2100°
Pt . . . . .	$1 \times 10^{-9}$	3800°

Авторы дистиллировали бедную золотую амальгамму и нашли, что дистиллят содержит 1% золота.

Haber<sup>2)</sup> произвел большую работу в связи с работами Miethе, Stammreich'a и Nagaoka по получению «искусственного» золота из ртути и пришел к заключению, что вся ртуть содержит золото.

Для приготовления нормальных элементов содержание золота  $10^{-7}$  и меньше уже оказывает небольшое влияние на электродвижущую силу элемента.

Интересно отметить, что ртуть не дает толчков при кипении в вакууме и в приборе Г. А. Huletт'a, т.-е. тогда, когда воздух проходит через ртуть в виде пузырьков, а во всех других случаях кипение ртути сопровождается разбрызгиванием и толчками. Иногда дистиллят ртути имеет мутноватый вид от окислов металлов, который исчезает, если пропустить ртуть через бумажный фильтр с булавочным отверстием.

<sup>1)</sup> Physik. Zeitschr. 26, 843 (1925) и Ber. Deutsche Chem. Gesellschaft 59, 1625 (1926).

<sup>2)</sup> Zeitschr. f. anorg. Chemie 153, 153 (1926).

Вопрос о степени растворимости кислорода в ртути исследовался Ашага, при чем он не нашел и следов поглощения кислорода при обыкновенной температуре и высоких давлениях, а также при  $100^{\circ}$  и значительных давлениях, при условии, что ртуть чистая. При незначительных следах металлических примесей происходит окисление ртути.

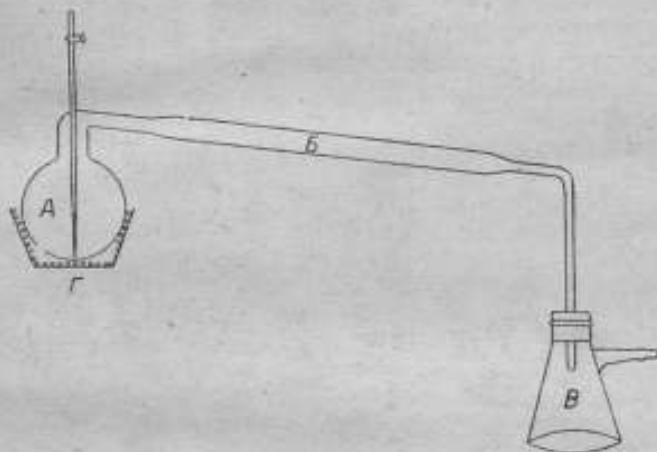


Рис. 4.

Для перегонки мы употребили прибор типа G. A. Huletta изготовленный в нашей стеклодувной мастерской. Прибор (рис. 4) состоит из круглодонной колбы тугоплавкого стекла, емкостью около 1 литра, с высокой шейкой, в которую впаяна стеклянная трубка диаметром 6 мм, нижняя часть последней проходит почти до самого дна колбы и оканчивается капилляром, а верхняя часть имеет длину 100 мм от шейки колбы и заканчивается стеклянным крапом. От боковой части шейки колбы идет отводящая трубка, к которой припаявается тонкостенная трубка *В* диаметром в 25 мм и длиной в 450 мм, служащая холодильником для паров ртути. Холодильник оканчивается трубкой и загнбается вниз в приемную колбу *В*. Колба *А* нагревается электрической печью *Г*, имеющей вид конуса, и сверху закрывается асбестовым футляром. Для перегонки в колбу наливается около 3 кг ртути и в электрическую печь включается ток силой 3,5 ампера. Для отсасывания воздуха употребляется насос Гёде или простой водоструйный насос. Насос присоединяется к Бюхнеровской приемной колбе и в системе устанавливается давление в 20—25 мм ртутного столба. Количество воздуха, проходящего через ртуть, регулируется посредством стеклянного крана так, чтобы в секунду проходил 1—2 пузырька воздуха через толщу ртути. Если точно подсчитать количество ампер, необходимых для кипячения ртути, а насос будет держать постоянный вакуум, то присмотра за прибором не требуется. Производительность прибора — около 1 кг чистой ртути в один час.

*Перегонка ртути в вакууме.* Окончательную перегонку ртути мы производим в приборе Weinhold'a обыкновенной конструкции, которая видна на фотографии (рис. 5). Н. Р. Wagan<sup>1)</sup> рекомендует перегонный аппарат, действующий на принципе дуговой ртутной лампы. Прибор очень компактный и удобен для лабораторной практики.

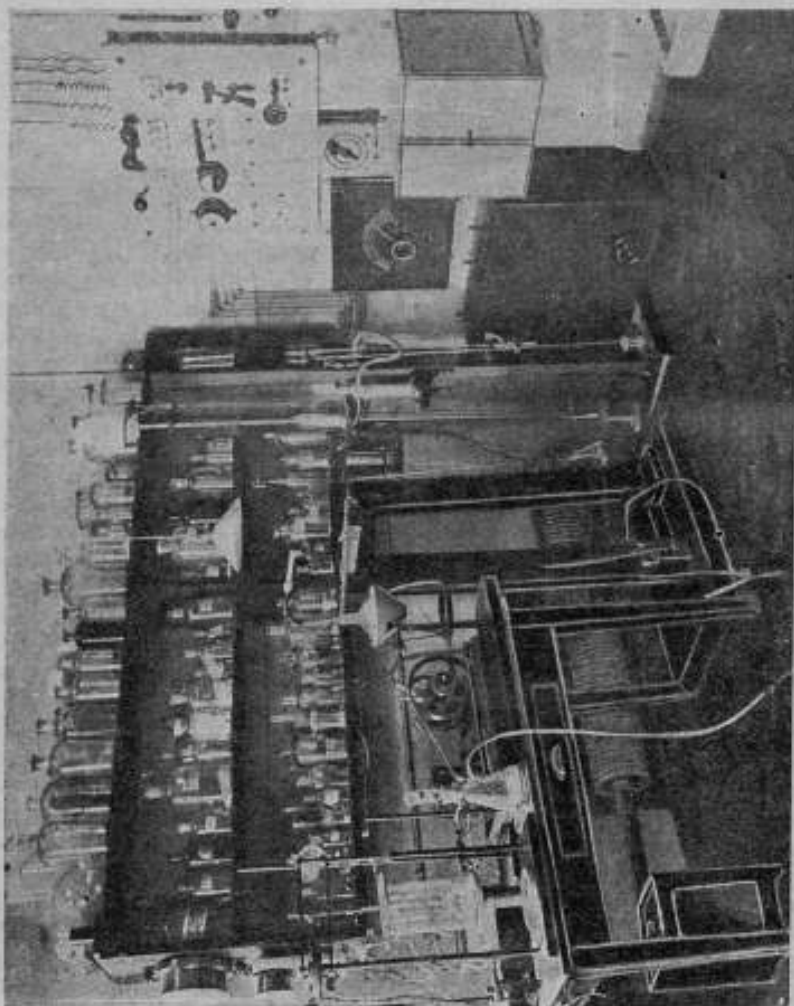


Рис. 5.

### Кадмий.

Металлический кадмий имеет белый цвет, плотность его 8,64, точка плавления  $320^{\circ},9$  и точка кипения  $778^{\circ}$ . Продажный нерафинированный металл содержит около 99,7% Cd; 0,04% Zn; 0,02% Fe и 0,15% Pb.

<sup>1)</sup> A simple Vacuum Arc Mercury Still for Laboratories. Philos. Mag. 2, 317 (1926).

Очистка кадмия может производиться электролизом расплавленного хлористого кадмия<sup>1)</sup> или осаждением из раствора сернокислого кадмия<sup>2)</sup>.

Для изготовления анодных колец нормальных элементов Вестона мы пользовались химическим чистым кадмием фирмы Kahlbaum в стержнях диаметром 6 мм и фирмы Merck в стержнях диаметром 9 мм. Подробное исследование кадмия было произведено E. Cohen'ом и Golder-shap'ом<sup>3)</sup>.

В качестве исходного материала для своих опытов они брали химически чистый кадмий фирмы Kahlbaum. На основании своих исследований они пришли к заключению, что кадмий представляет сложную систему, зависящую от предварительной термической обработки материалов и имеющую по крайней мере две модификации и точку превращения около 60°.

Кадмий, встречающийся в повседневной жизни, согласно их исследованию, находится всегда в метастабильном состоянии (подобно олову и висмуту), вследствие явления гистерезиса, появляющегося выше и ниже точки превращения.

В виду вышеизложенного, авторы приходят к заключению, что некоторые физические постоянные кадмия, а также механические, являются до известной степени случайными.

**Сернокислый кадмий.** Продажный сернокислый кадмий может быть загрязнен никкелевыми, свинцовыми и цинковыми солями, а также солями окиси и закиси железа. Вследствие этого соль необходимо подвергнуть кристаллизации и принять меры к восстановлению солей закиси железа. Мы употребляем для работ «Cadmium sulfat zur Arsenbestimmung» фирмы Kahlbaum и «Cadmium sulfuricum zur Füllung von Weston Normal Elementen puris. cryst.» фирмы E. Merck.

Сернокислая соль кадмия кристаллизуется с  $\frac{8}{3}$  молекулами воды и устойчива до температуры 74°, при которой она переходит в моногидратную форму. Растворимость сернокислого кадмия мало меняется с температурой, как мы это уже видели из таблицы 1.

Исходный сернокислый кадмий мы измельчаем в фарфоровой ступе и на 1 кг измельченной соли берем 1 литр перегнанной воды, имеющей электропроводность не более  $2 \times 10^{-6}$ . Растворение производится не менее суток в батарейном стакане, снабженном механической мешалкой, при постоянной температуре. Интересно здесь отметить и обратить особое внимание на то обстоятельство, что хотя  $\text{CdSO}_4 \cdot \frac{8}{3} \text{H}_2\text{O}$  является легко растворимой солью, однако скорость растворения чрезвычайно мала, и требуется большой промежуток времени для получения насыщенного раствора.

Сернокислый кадмий легко может быть очищен от примесей перекристаллизацией, так как  $\text{CdSO}_4 \cdot \frac{8}{3} \text{H}_2\text{O}$  не изоморфен с солями, встречающимися в нем в виде примесей. В виду того, что мы имеем дело с чистой солью фирмы Kahlbaum и Merck, достаточно одной или двух пере-

<sup>1)</sup> Zeitschr. f. anorg. Chemie 11, 49 (1896).

<sup>2)</sup> Ibidum. 13, 157 (1897).

<sup>3)</sup> Zeitschr. f. Physik. Chemie 87, 409 (1914).



кристаллизаций. Полученный раствор профильтровывается через мелкозернистую фильтровальную бумагу в кристаллизационную чашку, при чем слой раствора не превышает 10 мм. Кристаллизационные чашки с раствором покрывают фильтровальной бумагой и ставят в сушильный шкаф с постоянной температурой около  $37^{\circ}$  и оставляют в шкафу до появления кристаллов на дне чашки.  $\text{CdSO}_4 \cdot \frac{8}{3} \text{H}_2\text{O}$  кристаллизуется в очень красивых прозрачных кристаллах моноклинической системы, хотя часть кристаллов имеет мутный вид. Нами не было замечено разницы в электродвижущей силе элементов, заряженных одними мутными кристаллами, по сравнению с элементами, заряженными только прозрачными кристаллами.

Некоторые исследователи отмечают влияние размеров кристаллов  $\text{CdSO}_4 \cdot \frac{8}{3} \text{H}_2\text{O}$  на температурный гистерезис нормального элемента. Кристаллы, истертые в порошок, имеют большую поверхность соприкосновения с раствором, и электродвижущая сила нормального элемента быстро приходит в равновесие после температурного изменения. Wold<sup>1)</sup> нашел, что нормальный элемент с кристаллами около 2 мм в диаметре показывает больший температурный гистерезис, чем нормальный элемент с кристаллами, истертыми в порошок. В виду вышесказанного мы обычно употребляем мелко измельченные кристаллы.

При температуре  $75^{\circ},5$  кристаллы  $\text{CdSO}_4 \cdot \frac{8}{3} \text{H}_2\text{O}$  переходят в ангидридную форму  $\text{CdSO}_4$ ; получаются также бесцветные кристаллы, но кристаллизующиеся уже в ромбической системе.

#### Амальгама кадмия.

Отрицательным полюсом нормального элемента Вестона служит амальгама кадмия, которая является довольно сложной системой. О влиянии амальгамы кадмия на устойчивость электродвижущей силы нормального элемента Вестона возникли споры еще в 1902 г., не прекратившиеся и до наших дней. Изучению системы кадмий—ртуть посвящено много работ различных исследователей. F. E. Smith'a, H. C. Bijl'a, W. Jaeger'a, H. V. Steinwehr'a, E. Cohen'a и A. Schulze, выяснявших сущность процессов, совершающихся в анодном колене нормального элемента Вестона.

H. C. Bijl<sup>2)</sup> для исследования затвердевания и плавления ртути и кадмий воспользовался dilatометрическим методом, методом термического анализа и исследованием электродвижущих сил амальгам при различных температурах.

H. C. Bijl брал кадмий фирмы Merck и готовил амальгамы путем плавления и путем электролиза, при чем результаты не зависели от способа приготовления амальгамы.

**Метод термического анализа.** Обычным методом термического анализа, т. е. исследованием понижения температуры при медленном

<sup>1)</sup> Phys. Rev. 27, 329 (1908).

<sup>2)</sup> Zeitschr. f. Physik. Chemie 41, 641 (1902).



охлаждении смеси ртути и кадмия, являющейся функцией времени. Н. С. Вилл нашел кривую *ACB* (рис. 6). Эта кривая liquidus начала кристаллизации, находящаяся на границе между жидкими фазами и смесью жидких с твердыми фазами, дает перелом приблизительно около 65 атомных процентов и температуре  $188^{\circ}$ . Из рассмотрения кривой плавкости можно прийти к заключению, что кадмий и ртуть способны смешиваться в жидком состоянии во всех отношениях и что температура затвердевания всех смесей находится между температурами застывания компонентов. При охлаждении эти смеси начинают кристаллизоваться соответственно содержанию кадмия при температурах от  $-38^{\circ},87$  до  $+320^{\circ},9$ . При температурах от  $-38^{\circ},87$  до  $+188^{\circ}$  выделяется ряд смесей с содержанием кадмия от 0 до 65 атомных процентов, а от  $+188^{\circ}$  до  $+320^{\circ},9$  — с содержанием кадмия от 65 до 100 атомных процентов. Для того, чтобы определить концентрацию выпадающих твердых кристаллов для любого состава амальгамы и любой температуры, необходимо найти кривую solidus, находящуюся между твердыми фазами и смесью жидких с твердыми фазами. При помощи термического анализа Н. С. Вилл'ю не удалось найти эту кривую, возможно потому, что удельная теплота этих систем почти одинакова, и при переходе выделяется мало скрытой теплоты.

*Дилатометрический метод.* Примененный Н. С. Вилл'ем метод изменения объема, связанного с изменением состояния вещества, т.-е. дилатометрический метод, дал для изучения амальгамы нижеследующие результаты. Н. С.

Вилл'ю нашел, что при повышающейся температуре амальгама расширяется, при чем прежде всего расширяется твердая фаза. При определенной температуре начинается плавление, увеличивающееся при повышении температуры и заканчивающееся на кривой liquidus *ACB* (рис. 6). Расширение от твердого до вполне жидкого состояния измерялось в различных точках. При каждом измерении ждали довольно долго,

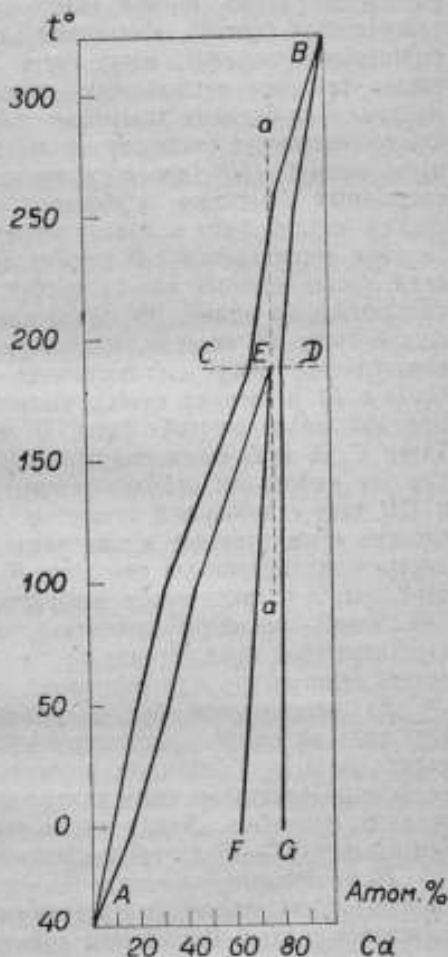


Рис. 6.

пока не замечалось дальнейшего изменения объема. Расширение во время процесса плавления было гораздо больше расширения твердой или вполне жидкой фазы. Таким образом, можно было dilatометрически определить начало и конец плавления. Начальные точки плавления будут те же, что и конечные точки застывания. Термическим анализом определить их Н. С. Виггю не удалось, но при dilatометрическом методе получается вполне определенная картина. Начальные точки застывания, определенные путем термического анализа, могут быть определены и dilatометрическим методом, при чем согласование этих методов в достаточной мере точно. На рис. 6 изображена диаграмма плавкости, где кривые *AE* и *DB solidus* соответствуют температурам застывания смеси ртути и кадмия. Ординаты кривой *CB liquidus* отвечают температурам начала выпадения смешанных кристаллов, а абсциссы точек этой кривой отвечают концентрации жидкой фазы в момент выпадения кристаллов твердого раствора.

Все точки кривой *CB liquidus* могут сосуществовать с твердыми смесями, состав которых указан кривой *DB solidus*, нанесенной на той же горизонтальной линии. Все точки кривой *AC liquidus* могут сосуществовать с твердыми смесями, изображенными кривой *AE solidus*. При температуре  $188^{\circ}$  могут сосуществовать смешанные кристаллы концентрации *C*, *D* и *E*. В твердых смесях мы получим также непрерывный переход. При  $180^{\circ}$  возле жидкой фазы *C* могут быть твердые фазы *E* и *D*. Точки *C*, *E* и *D* соответствуют 65, 75 и 77 атомным процентам кадмия, при чем цифры эти приблизительные, так как направления кривой *AE* и *DB* дано с небольшой точностью. Во всяком случае, расстояние между смесями незначительное и, как видно из рис. 6, концентрации двух существующих кристаллов смеси все более расходятся при понижении температуры, и в графическом изображении появляются две кривые *EF* и *DG*. Очень медленное изменение двух сосуществующих твердых фаз с температурой приводит к тому, что dilatометрически невозможно определить температуру, где появляется однородность.

Из рассмотрения рис. 6 вытекает, что из жидкой амальгамы первого ряда выделяются смешанные кристаллы типа ртути с содержанием кадмия от 0 до 75 атомных процентов, а из амальгамы второго ряда — смешанные кристаллы типа кадмия с содержанием кадмия от 75 до 100 атомных процентов. Между этими двумя рядами получается разрыв приблизительно 75—77 атомных процентов.

*Исследование электродвижущих сил амальгам.* Jaeger<sup>1)</sup> произвел исследование электродвижущих сил амальгам с различным содержанием кадмия. Посредством компенсационного метода Потгендорфа он определил для различных амальгам потенциальные разности по отношению амальгам с содержанием кадмия к ртути равным 1:6. Jaeger нашел, что амальгама с содержанием кадмия от 8,54 до 23,90 атомных процентов (от 5 до 15 весовых процентов кадмия) дает по отношению к 14,3% амальгаме одинаковую потенциальную разность при температуре около  $20^{\circ}$ . Выше 24 атомных процентов потенциальные разности начинают повышаться. Cohen<sup>2)</sup> сделал предположение из своих работ, что амаль-

<sup>1)</sup> Wied. Ann. 65, 358 (1898).

<sup>2)</sup> Wied. Ann. 65, 106 (1898).

гама с содержанием кадмия от 14,3 весовых процентов метастабильна и пришел к заключению, что выведенная Physikalisch Technische Reichsanstalt'ом формула зависимости электродвижущей силы нормального элемента Вестона от температуры действительна только между температурами от 23° до 26°. Затем Cohen<sup>1)</sup> отказался от своего предположения, но в 1920 году он опять выступил с предположением о метастабильности амальгамы на страницах Zeitschr. f. Physik. Chemie, о чем далее мы скажем более подробно. Jaeger<sup>2)</sup> суживает пределы действия нормальных элементов с содержанием в амальгаме кадмия 14,3 весовых процентов температурным промежутком 10°—26°.

Н. С. Вилл повторил опыты Jaeger'a, изучавшего амальгаму с содержанием кадмия только до 30 атомных процентов, и расширил их изучение на всю область концентрации до 100 атомных процентов кадмия. Н. С. Вилл произвел свои исследования при температурах 25°, 50° и 75° и определил те кривые, которые не могли быть найденными термическим анализом и дилатометрическим методом. Результаты этой работы графически изображены на рис. 7. По оси абсцисс отложены концентрации кадмия в атомных процентах, а по оси ординат — милливольты. При температурах 25°, 50° и 75° амальгамы с незначительным содержанием кадмия жидки и кривая в этом случае поднимается с возрастанием концентрации кадмия. Как видно из рис. 7, кривая круто поднимается вверх, затем идет горизонтально параллельно концентрационной оси, потом опять кривая поднимается менее круто вверх, затем дает небольшой горизонтальный участок и наконец, хотя и очень полого, поднимается вверх.

Каждая кривая дает электродвижущую силу амальгам, которую мы получим, если сделаем поперечный разрез диаграммы рис. 6 параллельно концентрационной оси при температурах 25°, 50° и 75°. В виду большого интереса этой диаграммы, рассмотрим изотермы при 25°. Изотерма пересекает кривую AC и AE при 9—10 и 23—24 атомных процентах содержания кадмия, в согласии с первым горизонтальным участком кривой электродвижущей силы. При этой температуре все амальгамы с содержанием 9 атомных процентов кадмия являются однородными и жидкими

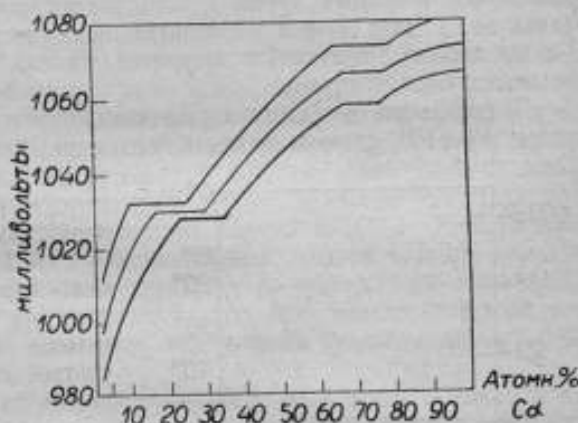


Рис. 7.

<sup>1)</sup> Verslagen Verg. Koninkl. Acad. von Wetenschappen 27 oct., 363 (1900).

<sup>2)</sup> Zeitschr. f. Instrumentenkunde Nov, 317 (1900).

смесими, и кривая электродвижущей силы правильно изменяется с концентрацией. Интересно отметить, что прибавление к чистой ртути одного атомного процента кадмия дает повышение электродвижущей силы от 0 до почти 1000 милливольт, а все дальнейшее повышение электродвижущей силы дает только 80 милливольт.

Амальгама с содержанием кадмия от 9 до 24 атомных процентов является гетерогенной системой, состоящей из смеси жидких и твердых фаз, при чем электродвижущая сила для всех этих смесей одинакова. Амальгама с содержанием от 24 до 65 атомных процентов кадмия является однородной и твердой, и электродвижущая сила амальгамы повышается с концентрацией. Амальгама с содержанием 65—80 атомных процентов кадмия состоит из двух фаз смесей двух родов кристаллов с концентрацией обеих конечных точек, и электродвижущая сила для этих смесей одинакова и дает второй горизонтальный участок. Наконец, амальгама с содержанием 80 атомных процентов кадмия до чистого кадмия дает повышающуюся кривую.

В результате последних исследований определены расходящиеся книзу кривые FE и GD, которые не могли быть определены ранее, при чем выяс-

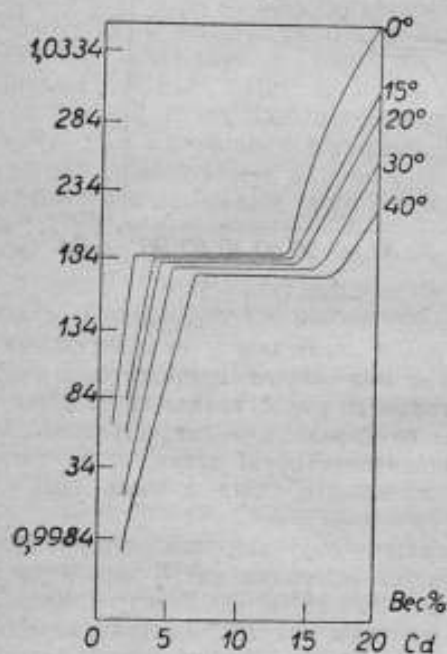


Рис. 8.

нам с содержанием кадмия от одного до 20 весовых процентов при температурах от 0 до 45° через каждые 5°. На диаграмме рис. 8 по оси

нлось, что область распада твердого раствора при низких температурах расширяется.

В 1910 году в National Physical Laboratory F. E. Smith<sup>1)</sup> произвел интересное экспериментальное исследование амальгам, употребляющихся в нормальных элементах. F. E. Smith измерил разность электродвижущих сил между различными амальгамами, заключенными в четырехколенном стеклянном сосуде. Одно колено играло роль положительного полюса нормального элемента Вестона, т. е. заключало ртуть и деполяризатор, а остальные колена были отрицательными полюсами, при чем одно колено наполнялось 10%-ной амальгамой, а два других — амальгамой с различным содержанием кадмия. Электролитом служил насыщенный раствор сернистого кадмия с избытком кристаллов.

F. E. Smith произвел определенные электродвижущие силы амаль-

<sup>1)</sup> The National Physical Laboratory Collected Researches VI, 139 (1910).



абсциссе отложены проценты кадмия в амальгаме, а по оси ординат — электродвижущие силы. Нижняя нисходящая ветвь кривой — область амальгамы в жидком состоянии, почти горизонтальный участок — область двухфазной системы амальгамы частью твердой, а частью жидкой, и наконец верхняя часть ветви есть область твердой амальгамы.

Из исследования F. E. Smith'a вытекает, что электродвижущая сила амальгамы до некоторой степени зависит от ее предварительной термической обработки. Если богатую кадмием амальгаму нагреть до температуры, при которой имеется жидкая и твердая фаза, то при охлаждении амальгама дает различную электродвижущую силу, зависящую от устойчивости обеих фаз, находящихся в зависимости от недостаточной однородности амальгамы. F. E. Smith брал амальгаму с содержанием кадмия 14, 15, 16 и 17% по весу и, нагревая их до 45°, заметил, что после термической обработки амальгамы имеют более жидкий вид. Это явление F. E. Smith объясняет предположением, что слой амальгамы сравнительно низкой концентрации окружает слой амальгамы более высокой концентрации. Из диаграммы рис. 8 видно, что наклон всех верхних ветвей кривых почти одинаков для температур от 15 до 40°; исключение представляет только наклон изотермы 0°. Если эту изотерму в верхней части провести параллельно изотерме 20° то она пересечется с горизонтальным участком изотермы в точке, указывающей содержание кадмия в 11%. F. E. Smith предполагает, что кривая не была получена благодаря разнице термической обработки и что элементы с амальгамой, содержащей более 11% кадмия, могут иметь при 0° электродвижущую силу сильно отличающуюся от электродвижущей силы элементов, заряженных амальгамами от 3 до 11 процентов кадмия.

Если вышеприведенное предположение F. E. Smith'a относительно существования слоев низкой и высокой концентрации в амальгамах верно, то быстрота охлаждения должна давать разные результаты. F. E. Smith изготовил ряд элементов с амальгамами, из которых часть была расплавлена и медленно охлаждена на водяной бане, а другие были расплавлены и резко охлаждены погружением в алкоголь, охлаждаемый твердой угольной кислотой до -50°. Затем он произвел определения электродвижущей силы при 0°. Электродвижущая сила медленно и резко охлажденных амальгам, содержащих от 1 до 11% по весу кадмия, была постоянна в пределах от 0,00001 до 0,00002 вольта. Резко охлажденные амальгамы с содержанием более 11% кадмия имели большую электродвижущую силу, которая сначала увеличивалась, а затем немного падала. В виду большого интереса этих исследований, мы приведем несколько данных, полученных F. E. Smith'ом (таблица 4 на стр. 60).

Электродвижущая сила резко охлажденных амальгам даже по прошествии 30 дней не может рассматриваться, как постоянная. Небольшое падение электродвижущей силы замечается на 30-й день, оно было только началом падения, которое может продолжаться долго в зависимости от того, что резкое охлаждение создало во внешнем слое амальгамы более высокую концентрацию.

Что касается до медленно охлажденной амальгамы, то низкая начальная электродвижущая сила может быть объяснена тем, что внешний



слой амальгамы имеет более низкую концентрацию сравнительно со средней концентрацией. Вследствие диффузии внешний слой будет делаться более богатым кадмием и электродвижущая сила элемента будет возрастать. Такое возрастание было отмечено W. Jaeger'ом и Н. С. Bijl'ем.

Таблица 4.

Содержание кадмия в амальгаме в % по весу	Наблюдаемая ЭДС при 20° С в международных вольтах 1,01800 ±				
	1 день	5 дней	10 дней	30 дней	Степень охлаждения
10	36	36	36	36	медленное резкое
	36	36	36	36	
12	40	39	39	39	медленное резкое
	50	183	272	268	
12,5	39	39	39	39	медленное резкое
	41	340	366	360	
15	44	110	337	544	медленное резкое
	583	897	920	910	

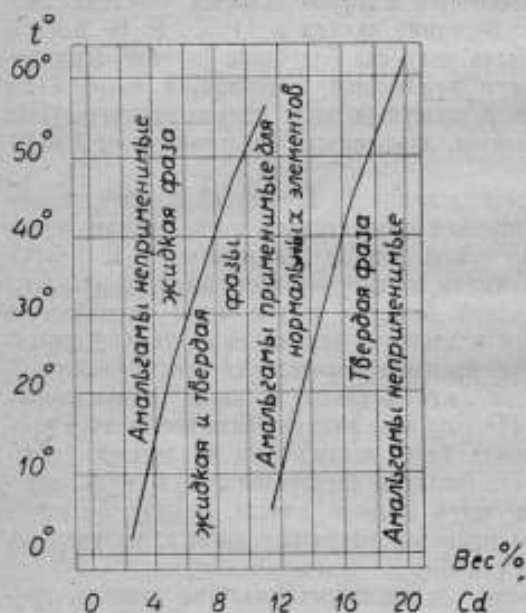


Рис. 9.

были бы совершенно твердыми, и электродвижущая сила их была бы выше, чем наблюдаемая в этом случае. Диффузия стремится восстановить однородность, электродвижущая сила возрастает и элемент делается на долгое время неустойчивым.

Ф. Е. Smith определяет пределы температур, в которых различные амальгамы могут наиболее целесообразно применяться в нормальных элементах, графически, как это изображено на рис. 9. Из диаграммы (рис. 9) следует, что амальгамы с содержанием кадмия от 2,6 до 11% по весу могут применяться при 0°.

Ф. Е. Smith приходит к весьма важным выводам.

1. Вследствие неоднородности структуры, кадмиевые амальгамы могут быть не твердыми ниже известной температуры и иметь центральную массу более высокой концентрации кадмия, а внешний слой — более низкой концентрации. В случае же однородности амальгамы

2. Вследствие неоднородности структуры, кадмиевые амальгамы могут быть не жидкими выше известной температуры и иметь в центре двухфазную систему, а во внешней части—жидкую амальгаму с низкой концентрацией кадмия по сравнению с центральной частью. В случае однородной структуры амальгама была бы жидкая, и электродвижущая сила была бы ниже, чем наблюдаемая в этом случае.

3. Амальгама с содержанием 12,5% по весу, употребляемая в нормальных элементах Вестона, может быть твердой при температуре ниже 12°, а элемент может иметь электродвижущую силу выше нормальной.

Когда амальгама имеет температуру близкую к первой переходной точке, но ниже ее, разница концентрации между внутренней и внешней частями амальгамы может быть незначительной, чтобы сделать возможным для внешней оболочки существование двухфазной системы. Благодаря небольшой разности в концентрации кадмия в общей массе амальгамы, процессе диффузии происходит очень медленно, и электродвижущая сила элемента остается постоянной очень долго. Электродвижущая сила такого элемента очень мало отличается от электродвижущей силы элемента, содержащего нормальную двухфазную систему. Вследствие вышесказанного, элемент, содержащий 12,5% амальгамы, за исключением очень редких случаев, имеет при 0° нормальную электродвижущую силу.

4. F. E. Smith все-таки решил заменить 12,5%-ную амальгаму в эталонных элементах 10%/с-ной, так как она находится при 0° выше своей первой переходной температуры и, следовательно, может употребляться при низкой температуре.

В 1920 году появилась статья E. Cohen'a и Al. Th. Moesveld'a<sup>1)</sup> под заглавием: «Неустойчивость международного элемента Вестона и непригодность его, как эталона напряжения». В этой статье почти не содержится нового фактического материала, кроме ссылок на результаты старой работы E. Cohen'a<sup>2)</sup> и приведенных там работ H. C. Bijl'a и F. E. Smith'a. Мы позволим себе отметить некоторые заключения, к которым пришел E. Cohen.

1. Международный элемент Вестона, имеющий амальгаму, содержащую 12,5% по весу кадмия, рекомендованный Международной Конференцией по единицам и эталонам 1908 года, не соответствует ни одному из требований, предъявляемых к эталону электродвижущей силы.

2. Международный элемент Вестона ниже 12°C представляет собою неустойчивую систему, которая может внезапно перейти в устойчивое состояние и изменить свою электродвижущую силу (около 6 милливольт при 0°).

3. Международный элемент Вестона следует заменить элементом Вестона с амальгамой, содержащей 8% кадмия по весу, который пригоден на несколько градусов ниже 0° и до +40°.

Статья E. Cohen'a встретила возражение со стороны W. Jaeger'a и H. v. Steinwehr'a<sup>3)</sup>, доказывающих на основании продолжительной

<sup>1)</sup> Zeitschr. f. Physik. Chemie 95, 285 (1920).

<sup>2)</sup> Ibidem 34, 821 (1900) и Ann. d. Physik 2, 863 (1900).

<sup>3)</sup> Zeitschr. f. Physik. Chemie 97, 319 (1921).

работы нормальных элементов Вестона в Physikalisch-Technische Reichanstalt'e, что элементы с 12,5% амальгамы вполне пригодны, как эталонные элементы. Мы не будем останавливаться на подробностях сделанных возражений, а перейдем к результатам экспериментальной работы о влиянии кадмиевой амальгамы на электродвижущую силу нормальных элементов Вестона, произведенную А. Schulze в Physikalisch-Technische Reichanstalt'e в 1923 году <sup>1)</sup>.

Так как Е. Cohen основывается главным образом на работах Н. С. Bijl'я <sup>2)</sup>, то А. Schulze <sup>3)</sup> произвел повторное и расширенное исследование амальгамы, применяя методы, предложенные Н. С. Bijl'ем.

*Метод термического анализа.* Для изучения кривой начала затвердения liquidus метод термического анализа дал хорошие результаты, графически изображенные на рис. 10. В ходе температуры кривой по времени ясно видны остановки, которые обозначают температуры начинающегося затвердевания. Кривая liquidus дала полное совпадение с кривой, выведенной Н. С. Bijl'ем.

Попытка применить метод термического анализа для определения конца затвердевания или начала плавления окончилась неудачей. А. Schulze не удалось найти ни одной точки кривой, так как при исследовании не наблюдалось ни остановки, ни изменения направления.

*Дилатометрический метод.* Примененные сосуды имели объем от 7 до 8 мл. В качестве дилатометрической жидкости был взят Simol (Isopropylbenzol), позволявшей хорошо производить отчет на делениях капиллярных трубок.

Исследовались амальгамы с содержанием 8,21; 9,33; 12,60 и 14,84% кадмия по весу. Амальгама с содержанием кадмия 8,21% исследовалась от  $-20^{\circ}$  до  $+50^{\circ}$ , при чем при  $+40^{\circ}$  кривая дала излом, обозначающий переход двухфазной системы в жидкую однофазную. Такой характер кривой был найден для 9,33% и 12,60% амальгам и находится в полном согласии с кривой liquidus. Эти кривые, установленные путем многих наблюдений, постоянно воспроизводились как при повышающейся, так и при понижающейся температуре.

Амальгама с содержанием кадмия 14,84% давала излом при температуре в  $30^{\circ}$ , что нельзя объяснить точкой перехода, так как вблизи  $30^{\circ}$  существует как жидкая, так и твердая фаза. Этот излом А. Schulze не мог объяснить, но для наших непосредственных задач он не представляет особого интереса.

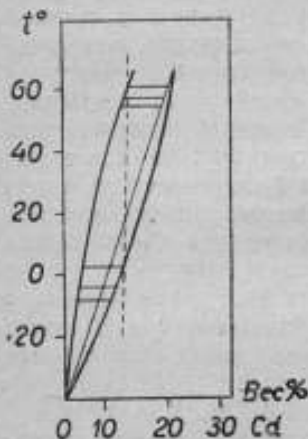


Рис. 10.

<sup>1)</sup> Zeitschr. f. Physik. Chemie 105, 177 (1923).

<sup>2)</sup> Ibidum 41, 614 (1904).

<sup>3)</sup> Zeitschr. f. Instrumentenkunde 41, 152 (1921).

Определить начало плавления A. Schulze не удалось при помощи dilatометрического метода, что находится в противоречии с работами Н. С. Вил'я, который, как мы уже видели, определил при помощи этого метода всю кривую solidus.

*Метод электропроводности.* Для изучения электропроводности A. Schulze взял U-образную капиллярную трубку с шарообразными сосудами на концах, в которой впаины платиновые проволоки тока и напряжения <sup>1)</sup>. Для наполнения амальгамы из прибора выкачивался воздух, и капиллярная трубка наполнялась расплавленной амальгамой. Кривые электропроводности в зависимости от температуры имели тот же характер, как и кривые объема. Для амальгамы с содержанием кадмия 14,07% по весу при 30° замечается сильный перегиб кривой, т. е. совершенно так же, как и при dilatометрическом исследовании.

Несмотря на большую точность метода по сравнению с dilatометрическим, начало плавления амальгам не удалось определить. Электропроводность неоднородной двухфазной системы не является хорошо определенной величиной, и поэтому наблюдается значительное отклонение от единичных наблюдений в области двухфазных систем.

*Исследование электродвижущих сил амальгам.* Для определения электродвижущих сил амальгам различных концентраций A. Schulze были изготовлены U-образные сосуды, имеющие 14 колен. В качестве электролита служил разбавленный раствор сернистого кадмия. Электродвижущая сила амальгам сравнивалась на компенсационном приборе Фейснера с нормальным элементом, содержащим раствор сернистого кадмия, насыщенного при 4°, напряжение которого мало изменяется от температуры. Для исследования было взято 14 амальгам, содержащих от 8% до 15% кадмия по весу и произведено определение электродвижущей силы при 14 различных температурах в пределах от 0° до +25°. В виду возможности гистерезиса при кристаллизации, амальгамы выдерживались 20 часов при 0°, но при этом изменения электродвижущей силы не замечалось. Доказательством отсутствия явления гистерезиса служит тот факт, что при повышающейся и при понижающейся температуре для электродвижущей силы получились одни и те же величины. В данном случае мы имеем дело с обратимыми процессами. Для нас интересны точки перехода двухфазной системы в однофазную твердую, определенные методом измерения электродвижущих сил нижеследующих амальгам:

Весовой процент содержания кадмия в амальгаме	Температура точки перехода
14,56%	17°
13,99%	11°
13,50%	6°
13,00%	0°
12,49%	ниже 0°
12,04%	" "

Полученные результаты согласуются с данными Н. С. Вил'я. На рис. 11 графически изображены результаты измерений Н. С. Вил'я и A. Schulze. По оси абсцисс отложены температуры, а по оси ординат — весовые проценты кадмия. Кривая, обозначенная крестиком, получена

<sup>1)</sup> Прибор этот применял W. Jaeger и H. v. Steinwehr для измерения электропроводности ртути. Zeitschr. f. Physik 7, 111 (1921).



Н. С. Вил'ем из определений электродвижущих сил амальгам. Кривая, обозначенная точками, получена А. Schulze также из определения электродвижущей силы амальгам, и кривая, обозначенная прямыми крестиками и пунктиром, получена Н. С. Вил'ем при dilatометрических измерениях. Из рассмотрения диаграммы видно, что кривая, полученная А. Schulze, лежит на продолжении кривой, полученной Н. С. Вил'ем, тогда как кривая Н. С. Вил'я, полученная при dilatометрических измерениях, противоречит его измерениям электродвижущей силы амальгам.

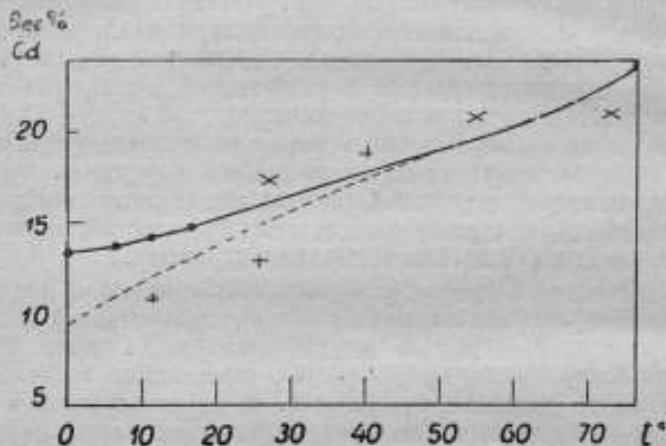


Рис. 11.

А. Schulze не находит объяснений для предположения F. E. Smith'a о слоистом строении амальгамы, так как для точек перехода получают одинаковые значения как при повышающейся, так и при понижающейся температуре. Кривая *solidus*, полученная А. Schulze (рис. 10), лежит значительно ниже кривой, полученной Н. С. Вил'ем.

Амальгама с содержанием 12,5% кадмия по весу, рекомендованная Международной Конференцией по электрическим единицам и эталонам 1908 г. для нормальных элементов Вестона, имеет свою точку перехода ниже 0°. Из этого вытекает, что утверждение E. Cohen'a о том, что нормальный элемент Вестона с содержанием 12,5% кадмия по весу находится в метастабильном состоянии, ошибочно.

Уклонение электродвижущей силы у элементов с резко охлажденными амальгамами, изученными F. E. Smith'ом, по мнению А. Schulze, можно объяснить путем химического анализа тем, что жидкая фаза резко охлажденной амальгамы имеет заметно иной состав, чем медленно охлажденная амальгама.

Из вышеприведенного видно, что до сих пор не все еще выяснено в области амальгам, и здесь предостает еще работа метрологическим лабораториям, но во всяком случае можно считать, что употребление 10%-ной амальгамы не может вызвать никаких обоснованных возражений.



В Главной Палате мер и весов применялась как 12,5%-ная, так и 10%-ная кадмевая амальгама. Принимая во внимание, что в СССР нормальные элементы могут находиться при низких температурах и даже ниже  $0^{\circ}$ , мы отдаем предпочтение 10%-ной амальгаме, точка перехода которой из двухфазной в однофазную твердую лежит значительно ниже переходной точки 12,5%-ной кадмевой амальгамы.

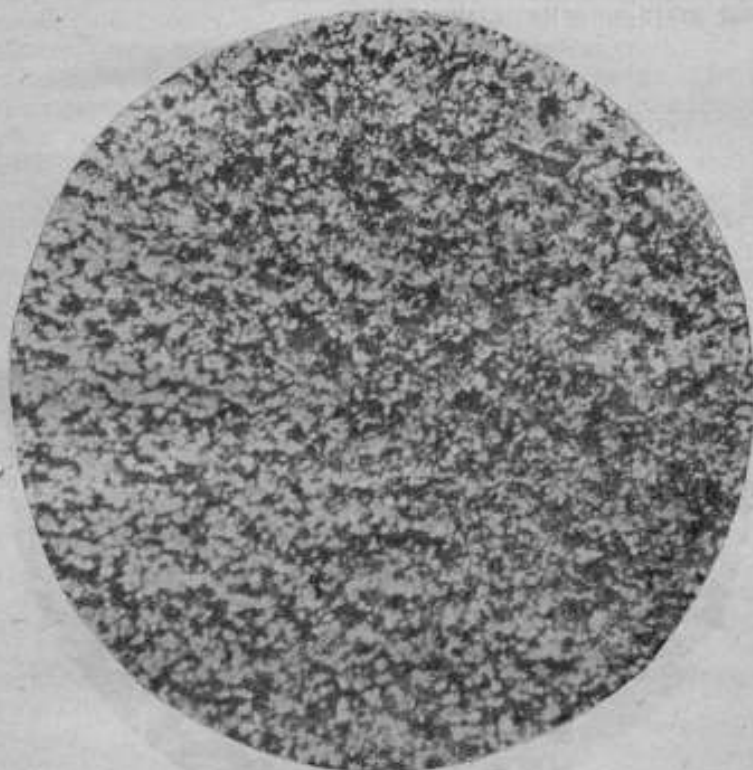


Рис. 12-а.

*Приготовление амальгамы.* Амальгаму кадмия мы получаем путем нагревания металлического кадмия со ртутью или путем электролитического отложения кадмия в ртути. Для приготовления нормальных элементов мы употребляем по преимуществу 10%-ную кадмевую амальгаму.

*Электролитический способ получения амальгамы.* Для электролиза мы применяем прибор, состоящий из двух различных размеров кристаллизационных чашек. Малая кристаллизационная чашка ставится на дно большой чашки. В малую чашку наливается отвешенное количество ртути и в нее вставляется стеклянная трубка, в нижний конец которой внашивается платиновая проволока, а сама трубка наполняется ртутью

и соединяется с отрицательным полюсом батареи. В кольцеобразное пространство между стенками чашек опускается пять палочек металлического кадмия, соединенных в один анодный электрод, подключаемый к положительному полюсу батареи. Электролитом служит 10%-ный раствор сернокислого кадмия, подкисленный 1%-ной  $H_2SO_4$ . Весь этот прибор закрывается стеклянным колпаком. При описанном расположении кристаллизационных чашек и электродов избегается возможность загрязнения катодной ртути анодным шламом.

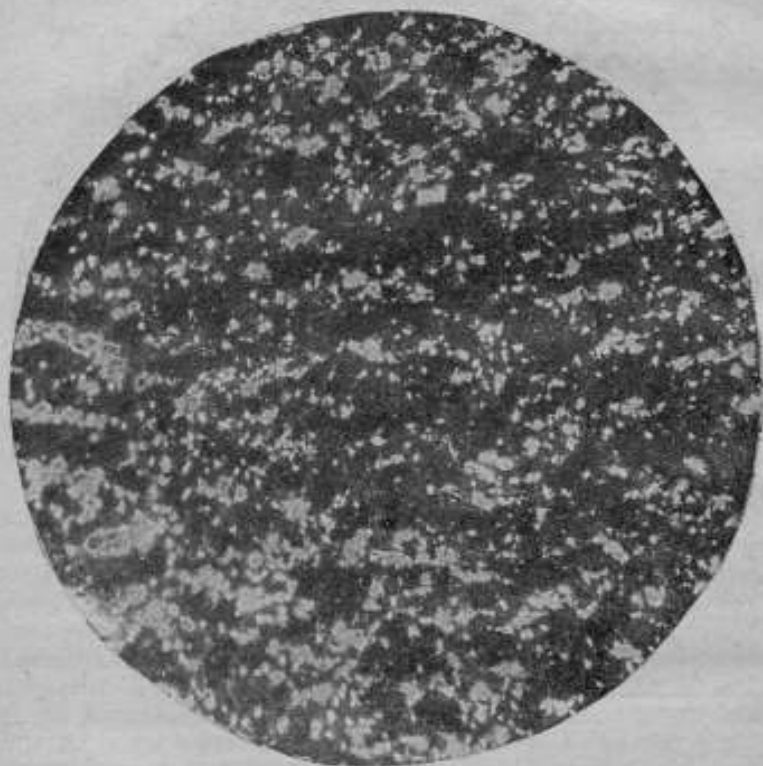


Рис. 12-6.

По закону Фарадея при прохождении через раствор электролита одного кулона электричества выделяется кадмий, количество которого определяется формулой:  $x = \frac{F}{H}$ , где  $H$ —эквивалентный вес кадмия, равный 56,2, а  $F$ —Фарадеевская постоянная, равная 96540 кулонов, отсюда кулон-эквивалент выделяет 0,5821 мг кадмия, а ампер-час-эквивалент 2,096 граммов кадмия. Зная весовое количество ртути и электрохимический эквивалент, не трудно рассчитать необходимое количество ампер-часов для электролитического отложения кадмия.

Силу тока мы берем около 1 ампера и кадмий отлагаем несколько больше, чем это нужно для 10%-ной амальгамы. По окончании электролиза амальгаму промываем горячей водой, сушим и взвешиваем. Затем прибавляем необходимое количество ртути и оставляем амальгаму под слоем 10%-ной серной кислоты до зарядки нормальных элементов.

*Тепловой способ получения амальгамы.* Палочка металлического кадмия тщательно обрабатывается раствором серной кислоты (1:10) и определенное количество кадмия прибавляется в фарфоровом тигле к соответствующему количеству ртути. Тигель закрывается крышкой и нагревается на водяной бане. Когда кадмий совершенно растворится, амальгама перемешивается, промывается раствором серной кислоты 1:10 и оставляется под слоем раствора той же кислоты до употребления.

При применении второго способа получения амальгамы необходимо иметь кадмий совершенно без всяких примесей, тогда как при первом методе приготовления требования к чистоте металлического кадмия могут быть понижены.

Употребление того или другого метода приготовления амальгамы не оказало влияния на электродвижущую силу изготовляемых нами нормальных элементов Вестона. На рис. 12 изображены микрофотографии, при увеличении около 25 раз, 10%-ной амальгамы (а) и 12,5%-ной амальгамы (б), полученных тепловым способом. Белые зерна видимые на микрофотографиях, представляют собою твердую фазу Cd—Hg, а темный фон является жидкой фазой. 12,5%-ная амальгама имеет большое количество жидкой фазы, но и 10%-ная амальгама имеет равномерно распределенные жидкую и твердую фазы.

#### Сернистая закись ртути.

Твердый осадок сернистой закиси ртути в катодном колоне нормального элемента Вестона играет роль деполаризатора, который поддерживает постоянную концентрацию ионов ртути, делая возможным осуществить на катоде электрохимическую реакцию выделения металлической ртути по следующей схеме:



Таким образом деполаризатор служит материалом для электрохимической реакции, и как только сернистая закись ртути исчезает, электродный потенциал изменяется и электродвижущая сила элемента уменьшается.

Rayleigh<sup>1)</sup> в 1884 г. нашел, что сернистая закись ртути, употребляемая в качестве деполаризатора, является причиной больших колебаний электродвижущей силы нормального элемента Кларка.

W. Jaeger и St. Lindbeck<sup>2)</sup> в 1901 г. пришли к заключению, что сернистая закись ртути вызывает колебания электродвижущей силы элемента Вестона. В 1902 г. исследования F. E. Smith'a<sup>3)</sup> в National Phy-

<sup>1)</sup> Phil. Trans. 175, 412 (1884).

<sup>2)</sup> Zeitschr. f. Instrumentenkunde 21, 33/1901.

<sup>3)</sup> British Association Report 1904.

sical Laboratory показали, что сернистая закись ртути может вызывать колебания электродвижущей силы нормального элемента в пределах  $\pm 0,002$  вольта в зависимости от способа приготовления.

В 1904 г. G. A. Hulett<sup>1)</sup> предпринял систематическое исследование сернистой закиси ртути, пролившее некоторый свет в неясный вопрос о роли сернистой закиси ртути в нормальных элементах. G. A. Hulett<sup>2)</sup> взял для опыта препараты сернистой закиси ртути, полученной различными методами и поместил их в H-образные стеклянные оболочки. В качестве электролита взял раствор серной кислоты, а электродами—ртуть. Измерение электродвижущей силы элементов, заряженных различными препаратами  $Hg_2SO_4$  показали, что различие в электродвижущей силе может достигать до 0,001 вольта.

G. A. Hulett предложил новый метод получения сернистой закиси ртути путем электролиза. Анодом служит ртуть, электролитом—раствор серной кислоты (1:6), а катодом—платиновая пластинка. Анодная ртуть и электролит во время электролиза приводятся в движение мешалкой. Плотность тока на 1 кв. дециметр анодной поверхности берется около 0,5 ампера. При электролизе на катоде преобладает выделение водорода, но может выделяться немного и ртути; на аноде начинает осаждаться сернистая закись ртути, как только произойдет насыщение ею электролита. Мешалка служит для удаления с поверхности осажденной соли. Из полученной сернистой закиси ртути G. A. Hulett приготовил нормальные элементы, электродвижущая сила которых давала меньшие колебания. Результаты этой работы были доложены в 1904 году Американскому Электрохимическому Съезду. На этом Съезде F. A. Wolff<sup>3)</sup> из Bureau of Standards прочел доклад об электролитическом методе получения сернистой закиси ртути, который он разработал независимо от G. A. Hulett'a.

Катодное колено нормального элемента Вестона состоит из трех твердых фаз:  $Hg_2SO_4$ ,  $CdSO_4 \cdot \frac{8}{3} H_2O$ , Hg и одной жидкой фазы, которая является насыщенной в отношении всех трех твердых фаз. Считают, что соли находятся в устойчивом состоянии при данной температуре, не образуют изоморфных смесей, двойных солей и между ними не происходит химического взаимодействия.

G. A. Hulett экспериментальным путем доказал существование равновесия между образовавшимися в растворе ионами ртутной закиси, ионами окиси, металлической ртути и сернистой закисью ртути. Для определения содержания ионов ртутной закиси и окиси в растворе была исследована жидкая фаза. В стеклянную трубку был налит насыщенный раствор сернистого кадмия и прибавлены  $Hg_2SO_4$ ,  $CdSO_4 \cdot \frac{8}{3} H_2O$  и Hg. Трубка вращалась в термостате 10 дней и затем был произведен анализ раствора. Результат анализа показал, что в одном литре раствора сернистого кадмия, находящегося в равновесии с  $CdSO_4 \cdot \frac{8}{3} H_2O$ ,  $Hg_2SO_4$  и Hg,

<sup>1)</sup> Amer. Electrochem. Soc. Trans. 6, 109 (1904).

<sup>2)</sup> Zeitsch. f. Physik. Chemie 49, 483 (1904).

<sup>3)</sup> Amer. Electrochem. Soc. Trans. 7, 49 (1904).



содержится около 25 мг двухвалентной ртути и 1,090 г одновалентной ртути. Отношение ионов закиси и ионов окиси  $\frac{\text{Hg}^+}{\text{Hg}^{++}} = 40$ .

G. A. Hulett произвел исследование гидролитического расщепления сернистой закиси ртути. В трубку с 500 мл воды он помещал почти сухой препарат сернистой закиси ртути, промытый  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (1:6), и трубку вращал в термостате. Через 12 часов раствор сливался и заменялся новым, а трубку вновь вращали. Каждый раз определялась электропроводность раствора. Электропроводность в начале и до 43-ей пробы была  $975 \times 10^{-9}$ . 44-ая проба дала электропроводность  $256 \times 10^{-9}$ , а у 45-ой пробы и у всех последующих проб электропроводность повысилась до  $60 \times 10^{-9}$ . Совершенно гидролизированный остаток, имеющий сероватую окраску, показал чрезвычайно малую степень растворимости. До 44-ой пробы сернистая закись ртути медленно гидролизировалась в нерастворимую основную соль, и как только вся сернистая закись ртути гидролизировалась подобным образом, электропроводность внезапно изменялась.

G. A. Hulett<sup>1)</sup> сделал предположение, что изменение электродвижущей силы, происходящее в нормальном элементе, вызывается растворенным в электролите кислородом воздуха. Для проверки своих предположений он взял две трубки, содержащие ртуть, сернистую закись ртути, и порошок  $\text{CdSO}_4 \cdot \frac{8}{3} \text{H}_2\text{O}$  и насыщенный раствор сернистого кадмия. Обе системы были одинаковы во всех отношениях, за исключением того, что из одной трубки воздух был удален и трубка была наполнена водородом, а во второй трубке раствор был насыщен воздухом. На основании полученных результатов можно заключить, что растворенный воздух не вызывает изменений в катодном колене нормального элемента.

Этот опыт G. A. Hulett'a вызывает у нас некоторые недоумения. Дело в том, что сернистая закись ртути, несомненно, подвергается окислению кислородом воздуха. Нами было отмечено на ряде опытов, описанных ниже, что кислород воздуха, несомненно, окисляет  $\text{Hg}_2\text{SO}_4$  в  $\text{HgSO}_4$ , что ведет к значительному повышению электродвижущей силы нормального элемента Вестона. Подобные явления описаны и другими исследователями.

Изучая гидролиз, G. A. Hulett<sup>2)</sup> пришел к заключению, что сернистая закись ртути гидролизруется раствором сернистого кадмия с образованием основной соли и раствора кислоты, при чем реакция протекает до образования кислоты определенной концентрации. G. A. Hulett нашел значительное повышение электродвижущей силы при вращении катодной системы, доходящее до 200 микровольт. Прибавляя к вращающейся катодной системе кислоты, он нашел, что электродвижущая сила сделалась постоянной и перестала повышаться. Этот опыт показывает, что сернистая закись ртути гидролизруется в растворе сернистого кадмия. Повышение электродвижущей силы, наблюдаемое в опытах вращения, доказывает, что ртутная концентрация повышается. Повышение на 200 микровольт пока-

<sup>1)</sup> Phys. Rev. 25, 16 (1907).

<sup>2)</sup> Phys. Rev. 27, 366 (1908).

зывает, что согласно уравнения Нернста:  $E = \frac{R \cdot T}{n \cdot F} \log \text{nat.} \frac{P}{p}$  концентрация сернистой закиси ртути повышается на 15%. Чистый раствор катодной системы, имеющий плотность 1,6176, содержит 760 г сернистой закиси кадмия на 1 литр и только 1 г сернистой закиси ртути. G. A. Hulett предложил метод анализа сернистой закиси ртути осаждением соляной кислотой в виде HgCl, которая имеет растворимость только 0,2 мг на один литр.

Для своих опытов G. A. Hulett сконструировал элемент со съёмным катодным коленом. Элемент был так устроен, что катодное колено можно было снимать, закрывать пробкой и вращать горизонтально в термостате. По окончании вращения катодное колено приводилось в контакт с анодным коленом и производилось определение электродвижущей силы.

Из полученных результатов видно, что кислота понижает электродвижущую силу нормального элемента Вестона, при чем линейная функция применима только до концентрации большей, чем 0,1N кислоты, а для незначительных концентраций кислоты изменение электродвижущей силы весьма значительно и следует по совершенно различным кривым. В пределах 0,1N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и больше изменение электродвижущей силы на 100 микровольт отвечает изменению 0,41 молекулы концентрации серной кислоты.

Сернистая закись ртути растворяется в насыщенном растворе сернистой закиси кадмия (в 5 раз больше, чем в воде), гидролизуется, и по мере того, как чрезвычайно медленный гидролиз выделяет основную соль и кислоту, ртутная концентрация повышается. Раствор становится насыщенным в отношении основной соли, которая выделяется в виде твердой фазы. Гидролиз останавливается, как только образовавшаяся от реакции кислота достигает концентрации 0,08N. Основная соль имеет растворимость, равную 0,00264 молекулы на литр, значительно меньшую нормальной соли. Из вышесказанного становится понятным изменение электродвижущей силы нормальных элементов Вестона, заряженных деполаризатором, состоящим из основной и нормальной соли сернистой закиси ртути.

Реакция гидролиза идет согласно следующего уравнения:



Достигнуть максимальной концентрации ртути, точки насыщения основной и нормальной соли сернистой закиси ртути, при опытах вращения не удалось, и повышение концентрации ртути во время вращения становится мерой гидролиза.

Для того, чтобы представить себе размер гидролиза, возьмем результаты анализа одного опыта вращения катодной системы. При благоприятных условиях в течение трех недель реакция дала только 0,00045 молекулы серной кислоты, тогда как для установления равновесия необходима концентрация 0,08N.

G. A. Hulett<sup>1)</sup> произвел вращение катодной системы с ртутью и без нее и пришел к заключению, что ртуть оказывает влияние на повышение

<sup>1)</sup> Phys. Rev. 30, 643 (1910).

скорости гидролиза сернистой закиси ртути в растворе сернокадмиевой соли. Для доказательства того, что в работающих нормальных элементах поверхностный слой электролита, окружающего ртутный электрод, имеет более низкую ртутную концентрацию, чем остальной электролит в пасте и сверх ее, были вскрыты катодные колена старых элементов. Пасту старых элементов перемешивали и электродвижущая сила нормальных элементов, заряженных перемешанной пастой, дала сначала повышение, а затем медленное понижение.

Нами было взято несколько старых элементов, в которых мы перемешали пасту около ртутного электрода, и элементы снова запаяли. Электродвижущая сила сначала возросла, а через 2 месяца опять показала понижение, но все же оставалась выше той величины, которую элемент показывал до перемешивания.

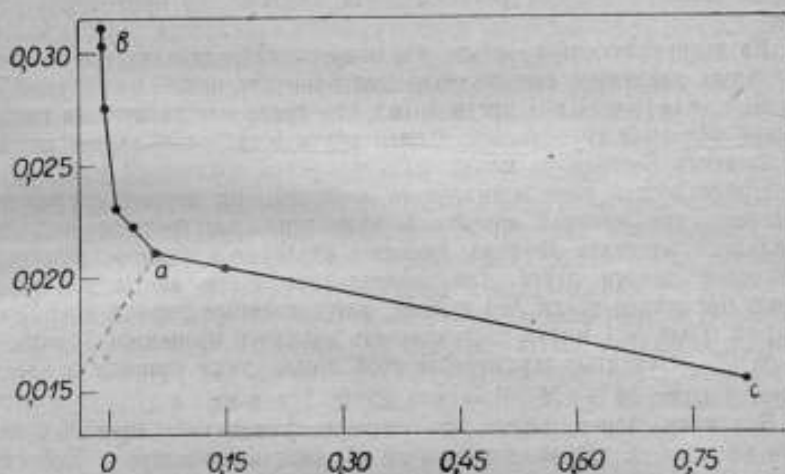


Рис. 13.

В результате исследования влияния кислоты на электродвижущую силу нормального элемента G. A. Hulett получил кривую, изображенную на рис. 13. Кривая *ac* изображает растворимость сернистой закиси ртути в насыщенном растворе сернокадмиевой соли с изменением концентрации серной кислоты. В точке *c* раствор сернокадмиевой соли содержит 0,81 молекулы серной кислоты на литр. При понижении концентрации серной кислоты растворимость сернистой закиси ртути равномерно повышается до точки *a*, в которой концентрация серной кислоты равна 0,08 молекулы на литр. Вдоль кривой *ac* система состоит из ртути, насыщенного раствора сернокадмиевой соли и нормальной сернистой закиси ртути, при чем кристаллы  $\text{CdSO}_4 \cdot \frac{8}{3} \text{H}_2\text{O}$  и  $\text{Hg}_2\text{SO}_4$  находятся в виде твердых фаз. В этой области основная соль ртутного сульфата не может существовать, так как система находится в равновесии. В точке *a* происходит перелом кривой растворимости, который указывает на какое-то

изменение в свойстве или числе твердых фаз. G. A. Hulett делает предположение, что изменение зависит от появления основной соли сернистой закиси ртути. В точке *a* могут находиться в равновесии: сернистокадмиевая соль, сернистая закись ртути и основная соль  $Hg_2SO_4$ , так что в точке *a* мы имеем дело с инвариантными системами и при удалении вправо по кривой растворимости *ac* одна фаза должна исчезнуть, при чем в данном случае эта фаза будет основная соль сернистой закиси ртути. При удалении влево по кривой *ab* должна исчезнуть нормальная сернистая закись ртути, если система находится в равновесии. Если бы эти системы пришли в равновесие, то все они сошлись бы в точке *a*, так как имеется достаточное количество нормальной сернистой закиси ртути для образования необходимой концентрации серной кислоты, а именно: 0,08 молекулы на литр. Но вследствие того, что гидролиз является исключительно медленной реакцией, эта система не приходит в равновесие.

Из вышесказанного видно, что вопрос о гидролизе катодного колена нормальных элементов еще не разрешен окончательно.

Н. v. Steinwehr<sup>1)</sup> предполагал, что изменение количества гидролизованной основной сернистой закиси ртути в катодном колене нормального элемента Вестона не может быть причиной изменений, наблюдаемых в электродвижущей силе нормального элемента. Он первый сделал предположение, что главной причиной изменения электродвижущей силы нормального элемента Вестона является различие в размере кристаллов сернистой закиси ртути. Для исследования были взяты два образца сернистой закиси ртути № I и № IV, изготовленные фирмой Kahlebach и Metz. Соль № I имела растворимость на много процентов больше, чем соль № IV. Элементы, заряженные этой солью, дали разницу в электродвижущей силе: № I—№ IV =  $+5 \times 10^{-4}$  вольта.

Под микроскопом видно, что размеры кристаллов соли № I около одного микрона, а кристаллов соли № IV—около 20 микронов. Кристаллы соли № IV были мелко измельчены и этой солью были заряжены нормальные элементы. Заряженные элементы через несколько дней показали следующие разности в электродвижущих силах:

$$\text{№ I—№ IV} = +1,1 \times 10^{-4} \text{ вольта.}$$

$$\text{№ I—№ IV} = +2,4 \times 10^{-4} \text{ вольта.}$$

Н. v. Steinwehr предложил способ получения больших кристаллов размером от 2 до 5 мм путем прибавления азотистой закиси ртути по каплям в кипящий раствор серной кислоты. Разность в электродвижущей силе элементов, заряженных солью с большими кристаллами по сравнению с солью № I, дала 0,7—0,8 милливольт. Большие кристаллы были измельчены и ими были заряжены элементы. Элементы с измельченными кристаллами, по сравнению с элементами заряженными большими кристаллами, дали разность электродвижущей силы равную 6 милливольтам.

<sup>1)</sup> Zeitschr. f. Instrumentenkunde 25, 205 (1905).



В. А. Hulet<sup>1)</sup> произвел исследования под микроскопом ряда образцов сернистой закиси ртути, полученной электролитическим путем, и нашел, что размеры кристаллов изменяются от 2 до 130 микрон. Электродвижущие силы элементов, заряженных этими образцами, дали, по его наблюдениям, одинаковые величины.

F. E. Smith<sup>2)</sup> также исследовал влияние размеров кристаллов сернистой закиси ртути на величину электродвижущей силы нормального элемента. Из рассмотрения микрофотографий образцов сернистой закиси ртути, полученных различными методами, видно, что кристаллы получаются различных размеров, и каждый метод изготовления дает особый тип кристаллов. Кристаллы, полученные электролитическим методом, имеют несколько неправильные очертания и изменяются по величине от 2 до 8 микрон. Кристаллы, полученные методом химического осаждения, сильно закруглены, в виде галек, процессом растворения в горячей серной кислоте. Размеры кристаллов варьируются в пределах от 5 до 30 микрон. Этот метод изготовления дает нам более однородные типы кристаллов. F. E. Smith'ом были изготовлены очень крупные кристаллы длиной до 400 микрон методом H. v. Steinwehr'a. Нормальные элементы, заряженные крупными кристаллами, давали большие отклонения, и электродвижущая сила их была выше обычных нормальных элементов на  $8 \times 10^{-6}$  вольты. F. E. Smith делает предположение, что высокие величины элементов с крупными кристаллами объясняются загрязнением, так как при больших кристаллах очень трудно, при промывке сернистой закиси ртути, совершенно удалить азотную кислоту. Он приходит к заключению, что при величине кристаллов от 3 до 90 микрон соль будет иметь одну и ту же степень растворимости, и элементы, заряженные этими кристаллами, дадут одинаковую электродвижущую силу. Это заключение расходится с мнением H. v. Steinwehr'a. F. E. Smith считает, что большая разность электродвижущей силы, полученная H. v. Steinwehr'ом при его опытах с продажной солью фирмы Kahlebaum, зависит не от размеров кристаллов, а от гидролиза сернистой закиси ртути.

В виду существующего разногласия по вопросу о влиянии размеров кристаллов сернистой закиси ртути на величину электродвижущей силы нормального элемента Вестона, нами было предпринято экспериментальное исследование этого вопроса. В июне 1926 года мы приготовили пятиколенный элемент<sup>3)</sup>, при чем два элемента мы зарядили сернистой закисью ртути, полученной путем осаждения из раствора серной кислоты (рис. 14а), а два элемента зарядили той же сернистой закисью ртути, но измельченной в фарфоровой ступке (рис. 14 б). Эти элементы исследовались нами на протяжении более двух лет. На рис. 15 изображены изменения электродвижущей силы, измерения которой начинаются со второго дня по изготовлении элементов. Через два года и пять месяцев электродвижущие силы элементов сближаются. Высокие первоначальные электродвижущие силы элементов с измельченными кристаллами могут быть объяснены

<sup>1)</sup> Zeitschr. f. Physik. Chemie 37, 385 (1901) и Phys. Rev. 22 321 (1906).

<sup>2)</sup> Nat. Phys. Lab. Collected Researches 4,89 (1908).

<sup>3)</sup> Электрические и световые эталоны СССР, № 60, 73 (1928 г.).

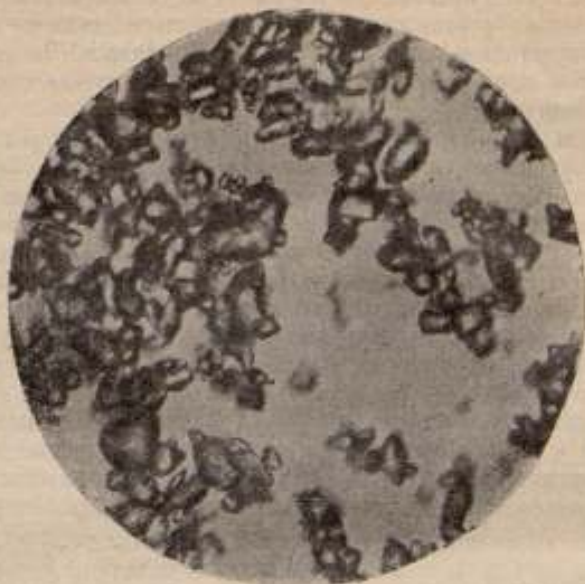


Рис. 14-а.

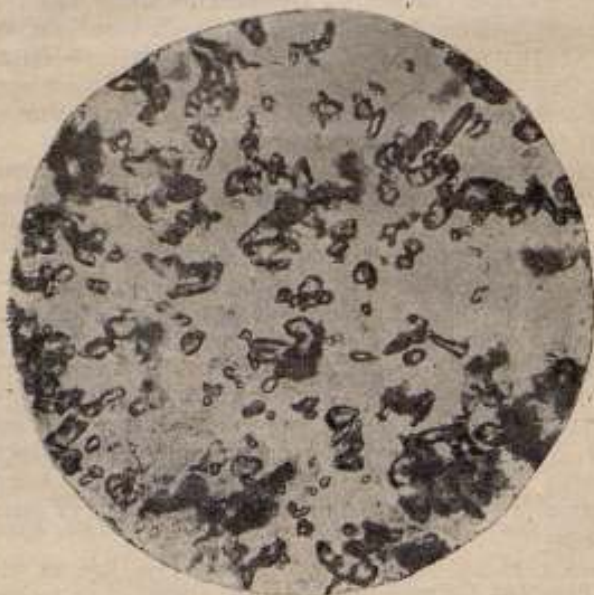


Рис. 14-б.

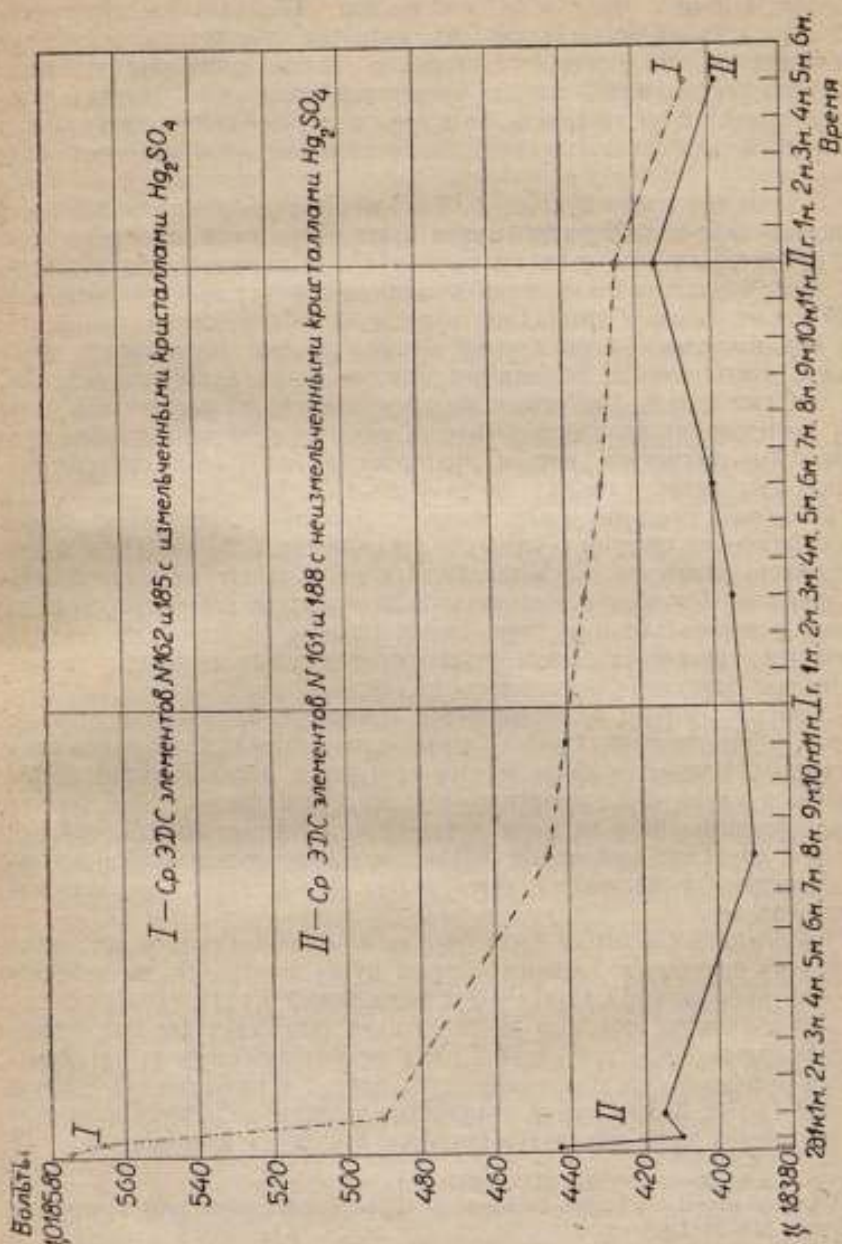


Рис. 15.



только тем, что электродвижущие силы зависят от размеров кристаллов сернистой закиси ртути, а не от гидролиза. Сближение электродвижущей силы этих элементов можно объяснить тем, что в пасте происходит с течением времени перекристаллизация и мелкие кристаллы исчезают. Как будет сказано ниже, высокая электродвижущая сила некоторых элементов зависит и от гидролиза, но в данном случае, несомненно, высокая электродвижущая сила объясняется лишь наличием размельченных кристаллов.

В последнее время Wagen C. Vosburgh<sup>1)</sup> предложил новый метод промывки сернистой закиси ртути в атмосфере азота для предохранения от окисления этой соли. Он также отмечает изменение электродвижущей силы нормальных элементов в зависимости от приемов обработки  $Hg_2SO_4$  и от размеров кристаллов сернистой закиси ртути.

*Приготовление сернистой закиси ртути.* Существует много методов приготовления сернистой закиси ртути, а так как соль эта, как мы уже видели, оказывает большое влияние на электродвижущую силу элементов, то на приготовление ее необходимо обратить особое внимание. Мы рассмотрим методы приготовления этой соли, применяемые в различных метрологических лабораториях<sup>2)</sup>.

*National Physical Laboratory в Англии.* Сернистая закись ртути получается главным образом, по предложению F. E. Smith'a, путем химического осаждения. На металлическую ртуть действуют крепкой азотной кислотой. Полученную азотнокислую закись ртути растворяют в слабой кислоте и прибавляют к раствору серной кислоты. В результате реакции получается сернистая закись ртути, которая после промывки употребляется для зарядки нормальных элементов.

*National Bureau of Standards в Америке.* Применяется главным образом электролитический метод, впервые разработанный американскими учеными<sup>3)</sup>. В качестве анода берется слой ртути, катодом служит листок платиновой жести, а электролитом—раствор серной кислоты. Ток берется от двух до пяти ампер на 1 кв. дециметр анодной поверхности, при чем раствор и ртуть при электролизе сильно помешиваются мешалкой. В результате электролиза получается сернистая закись ртути, которая осаждается на дно.

*Laboratoire Central d'Electricité во Франции.* Сернистая закись ртути здесь получается главным образом путем электролиза на переменном токе, предложенным Coste'ом и испытанным Etaix<sup>4)</sup>.

Для получения этой соли на переменном токе берут две кристаллизационные чашки диаметром около 7 см с небольшим слоем ртути, помещают в большую кристаллизационную чашку, с разбавленной серной кислотой (1:5). Малые кристаллизационные чашки посредством изолированной платиновой проволоки присоединяются к полюсам альтернатора с 42

<sup>1)</sup> J. Am. Chem. Soc. 47, 1258 (1925 г.).

<sup>2)</sup> International Conference on Electrical Units and Standards 1908 Appendix to the Report, London 1908.

<sup>3)</sup> Carhart and Hulett, Trans. Am. Electrochem. Soc. 5,59 (1904) и Wolff, Ibidum 5,49 (1904).

<sup>4)</sup> Travaux du Laboratoire Central. Recherches sur les éléments étalons au cadmium par P. Janet et R. Jouaust. Paris, 1908.



периодами. Плотность тока берут около 5 эффективных ампер на 1 кв. дециметр. Две мешалки, расположенные в двух чашках, приводят в непрерывное движение поверхности двух ртутных электродов. В этих условиях сернистая закись ртути получается белого цвета в виде мелких зерен. Полученная сернистая закись ртути промывается насыщенным раствором сернокадмиевой соли.

*Physikalisch-Technische Reichsanstalt в Германии.* Сернистая закись ртути готовится методом химического осаждения. Для получения сернистой закиси ртути берут 20%-ный раствор подогретой серной кислоты и тонкую струю вливают в 20-ный водный раствор азотно-кислой закиси ртути, подкисленный азотной кислотой. Осадок декантируется, промывается водой и сушится при температуре 100°.

*Главная Палата мер и весов СССР.* Мы применяем для изготовления сернистой закиси ртути главным образом метод химического осаждения, аналогичный методу, предложенному F. E. Smith'ом и, кроме этого, электролитический метод, предложенный G. A. Hulett'ом.

*Метод химического осаждения.* Исходным материалом для приготовления азотнокислой закиси ртути служит ртуть, очищенная согласно вышеописанным методам, и азотная кислота фирмы Kahle & Co. плотностью 1,40 «absol. halogenfrei». 20 мл азотной кислоты прибавляется к 10 мл металлической ртути, при чем происходит бурная реакция с выделением окислов азота (реакция производится в вытяжном шкафу). При действии азотной кислоты на избыток ртути при комнатной температуре получается сернистая закись ртути, которая разбавляется водой. Так как азотно-кислая закись ртути в водном растворе легко превращается в основные соли по уравнению:  $2\text{HgNO}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{HgOH} \cdot \text{HgNO}_3 + \text{HNO}_3$ , то для растворения всех нитратов берется кислота. 200 мл 2%-ной азотной кислоты вливается в стакан и в него переводятся образовавшиеся нитраты вместе с избытком ртути, при чем получается совершенно прозрачный раствор.

При действии полученного раствора азотнокислой закиси ртути на раствор серной кислоты происходит осаждение сернистой закиси ртути по уравнению:  $2\text{HgNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Hg}_2\text{SO}_4 + 2\text{HNO}_3$ .

Для осуществления этой реакции берем воду, имеющую электропроводность не ниже  $2 \times 10^{-6}$  и серную кислоту, плотностью 1,84 „Zug Analyse“ фирмы Kahle & Co.

Берем большой стакан, устанавливаем в него стеклянную мешалку, приводимую в действие электродвигателем, и наливаем свежеприготовленный 25%-ный раствор серной кислоты. Пока раствор кислоты еще горячий, приливаем из делительной воронки раствор азотнокислой закиси ртути. Для предупреждения окисления  $\text{Hg}_2\text{SO}_4$  во время реакции желательно присутствие ртути. Во все время реакции необходима работа мешалки. По окончании реакции и остановки мешалки полученная сернистая закись ртути осаждается на дно стакана и промывается два раза декантацией 15%-ной серной кислотой. Далее сернистая закись ртути переносится в тигель Гуча и промывается 15%-ной серной кислотой, пока дифениламин<sup>1)</sup> не пере-

<sup>1)</sup> Для приготовления раствора дифениламина берется 0,5 г  $(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{NH}$  и растворяется в растворе 100 мл  $\text{H}_2\text{SO}_4$  плотностью 1,84 и 20 мл чистой воды.

станет давать с промывной кислотой синее кольцо. Затем сернистая закись ртути промывается насыщенным раствором сернокадмиевой соли. После того, как промывная жидкость перестает давать синее окрашивание с реактивной бумагой Конго, сернистая закись ртути вынимается из тигля, при чем удаляется верхний слой этой соли, загрязняемый иногда пылью. Полученная сернистая закись ртути белого цвета переносится в стеклянную банку оранжевого цвета и сохраняется под слоем насыщенного раствора сернокадмиевой соли. Приготовление соли производится в затемненной комнате. Обычный вид хорошо образованных кристаллов сернистой закиси ртути, полученной вышеописанным методом, изображен на микрофотографии рис. 16, при увеличении в 250 раз.

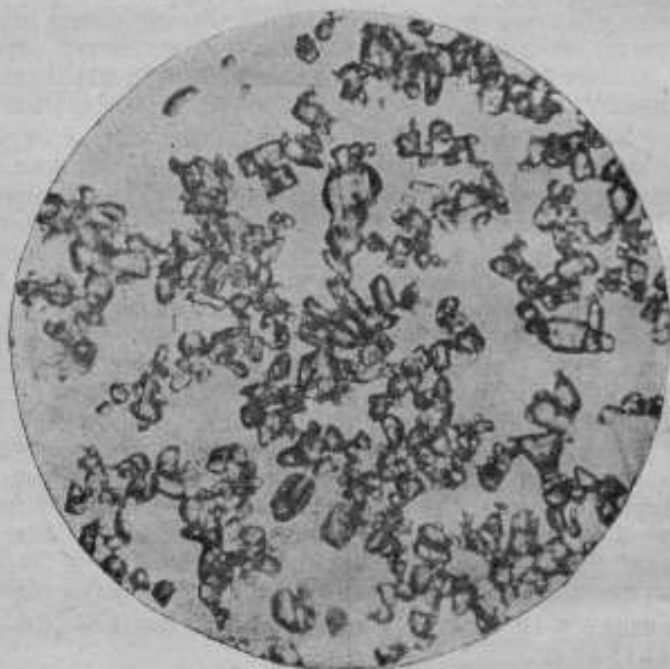


Рис. 16.

*Электролитический метод.* Этот метод рекомендует Bureau of Standards вследствие однородности получаемого продукта и отсутствия других веществ, кроме ртути, кислоты и воды.

Для получения электролитической сернистой закиси ртути мы пользуемся установкой для электролитической очистки ртути, изображенной на рис. 3. Берем одну кристаллизационную чашку диаметром 100 мм и вставляем ее в другую чашку диаметром в 200 мм. Стеклопластиковая мешалка, согнутая под прямым углом, укрепляется таким образом, чтобы нижняя часть мешалки чуть-чуть не доходила до поверхности ртути, при чем скорость оборотов мешалки должна быть около 200 в минуту. Если ртуть

задевается мешалкой, то большая часть ее раздробляется на большое число мельчайших шариков. Для того, чтобы установить контакт с ртутью, в нижний конец стеклянной трубки впаивается платиновая проволока диаметром в 1 мм, конец которой погружен в ртуть на 5 см. Стеклянная трубка наполняется ртутью и посредством медной проволоки, вставленной в верхнюю часть трубки, соединяется с положительным полюсом батареи. Катодом служит небольшой листок платиновой жести, находящийся в верхней части внешней чашки. На катоде выделяется водород и

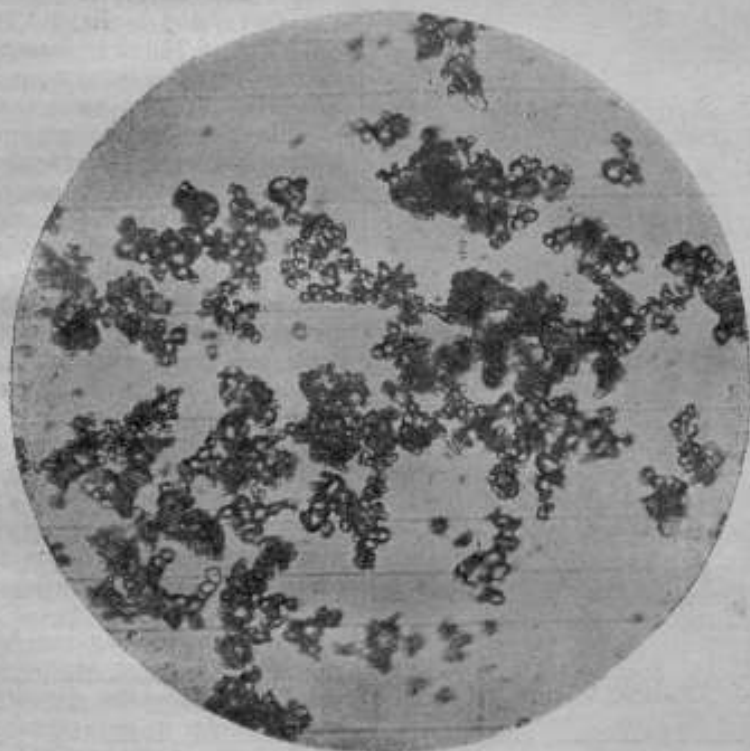


Рис. 17.

сравнительно немного ртути. На дно внутренней чашки наливается слой ртути высотой около 10 см и весом около 1 кг. В качестве электролита берется раствор серной кислоты, состоящий из 150 мл серной кислоты плотностью 1,84 и 900 мл воды, электропроводность которой не ниже  $2 \times 10^{-9}$ . Плотность тока берем около 2 ампер на 1 кв. дециметр. При электролизе образуется сернистая закись ртути, которая в начале электролиза растворяется в кислоте, но когда раствор насытится сернистой закисью ртути (около 0,2 г на 1 литр), сернистая закись

ртути начинает осаждаться на анодной поверхности. Для того, чтобы избежать вторичной реакции, необходима мешалка, при помощи которой осадок захватывается вращающейся жидкостью и осаждается в кольцеобразном пространстве между стенками внешней и внутренней кристаллизационных чашек. При электролизе со свежей серной кислотой, не насыщенной сернистой закисью ртути, на анодной поверхности образуется пленка. Для избежания этой пленки в начале электролиза приходится

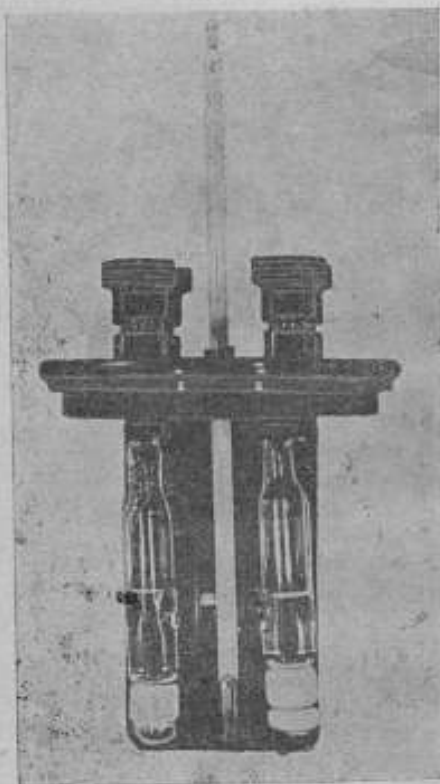


Рис. 18.

включать и вырубать ток, пока кислота не насытится сернистой закисью ртути. 1 ампер-час выделяет 7,458 г Hg и 1,7912 г  $SO_4$  или 9,2492 г сернистой закиси ртути. Электролиз производится около 5 часов.

По окончании электролиза и прекращении размешивания раствора образовавшаяся соль осаждается на дно. Прозрачную кислоту удалим из стакана, а сернистую закись ртути вместе с ртутью переносим из внутренней чашки во внешнюю и некоторое время подвергаем размешиванию мешалкой. Затем кислоту со взвешенными частицами сернистой закиси ртути выливаем в стакан, по осаждении ее прибавляем опять кислоту и оставляем в стакане мелко раздробленную ртуть и сернистую закись ртути. Эту операцию продолжаем до тех пор, пока ртуть не отделится от сернистой закиси ртути. Надо отметить, что ртуть находится в состоянии мельчайшего раздробления и не легко отделяется от сернистой закиси ртути. Полученная соль хранится в банке оранжевого стекла под

слоем раствора кислоты (1:6). На рис. 17 изображена микрофотография при увеличении около 250 раз полученной нами электролитическим путем сернистой закиси ртути, полу-

### Заряжение нормальных элементов Вестона.

Нормальные элементы заряжаются в стеклянной оболочке, имеющей H-образную форму, очень удобную для наполнения элементов материалами и для запаивания. На рис. 18 изображен внутренний вид нормаль-



ного элемента Вестона, а на рис. 19 — внешний вид элемента в футляре, изготовляемом в Главной Палате мер и весов. На рис. 20 изображена оболочка нормального элемента, предназначенного для работ на компенсационных установках. М. Ф. Маликов предложил новую форму одноколенного нормального элемента, описанного им на страницах этого же выпуска Временника.

Электродвижущая сила нормального элемента не зависит от величины и формы оболочки, но последняя влияет на поляризацию, образующуюся при прохождении тока, и на скорость, с которой нормальный элемент принимает окружающую температуру.

В качестве материала для изготовления оболочек нормальных элементов мы применили иенское стекло или стекло № 23, изготовляемое заводом «Дружная Горка» близ Ленинграда.

Внайка платиновых проволок диаметром 0,3 мм производится особенно тщательно, так как в практике Главной Палаты и других метрологических иностранных учреждений были случаи, когда вследствие мельчайших трещин в стекле у платиновых электродов или плохой протяжки платиновой проволоки масло попадало внутрь нормального элемента.

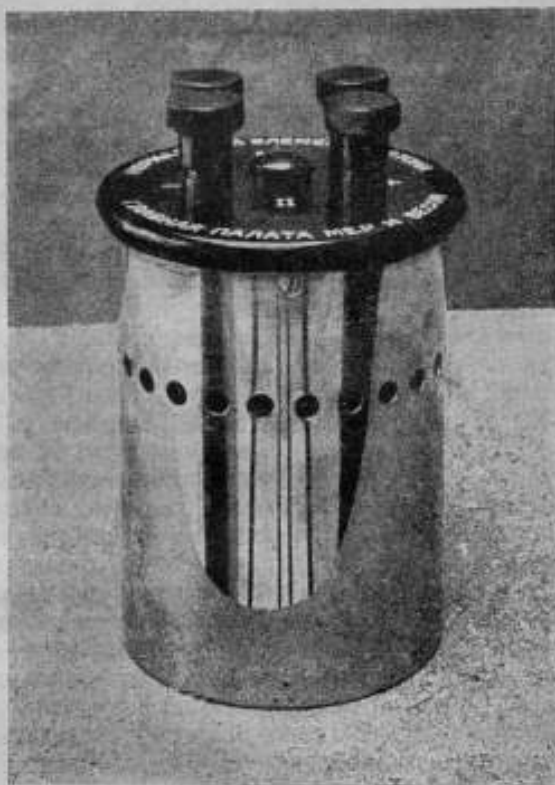


Рис. 19.

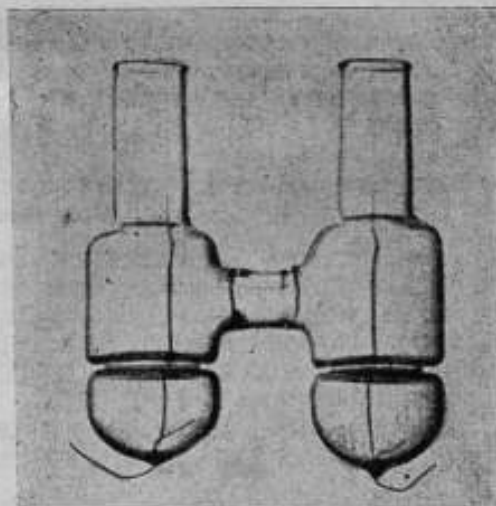


Рис. 20.

Перед заражением оболочки споласкиваются водой, наполняются смесью азотной и соляной кислот (1 часть азотной кислоты плотностью 1,4 и три части соляной кислоты плотностью 1,19) и затем тщательно промываются дистиллированной водой. Действие кислот облегчает последующий процесс амальгамирования платиновой проволоки. После промывки оболочки наполняются раствором азотнокислой закиси ртути, подкисленной азотной кислотой. За катод берут электродные проволоки, а анодом служит платиновая проволока, погруженная в раствор. Ток берут силой 0,05 ампера и пропускают до тех пор, пока выделявшаяся из электролита ртуть не перестанет держаться на катодной проволоке. По окончании амальгамирования электролит выливается, оболочка несколько раз прополаскивается разбавленной азотной кислотой (1 часть азотной кислоты на 20 частей воды) и наконец окончательно промывается водой. Очищенная таким образом оболочка сушится в сушильном шкафу при температуре 110°.

Нормальные элементы заряжаются в следующей последовательности. Кадмиевую амальгаму нагревают на водяной бане и вводят в одно колено элемента посредством сухой и прогретой пипетки, при чем платиновый электрод должен быть совершенно покрыт амальгамой. Ртуть вводится маленькой пипеткой, конец которой оттянут в тонкий капилляр. Паста составляется из сернокислой закиси ртути, смешанной с  $\frac{1}{4}$  по объему перекристаллизованной сернокадмиевой соли, измельченной в тонкий порошок, насыщенного раствора сернокадмиевой соли и размельченной металлической ртути примерно  $\frac{1}{10}$  по объему. Паста готовится перед зарядкой элементов такой плотности, чтобы она легко втягивалась в пипетку и вытекала из нее. Амальгама и паста покрываются слоем насыщенного раствора сернокадмиевой соли и затем вводится размельченные кристаллы  $\text{CdSO}_4 \cdot \frac{8}{3} \text{H}_2\text{O}$  как в анодное, так и в катодное колена. Для того, чтобы нормальный элемент был насыщен при всех температурах, необходимо иметь избыток кристаллов  $\text{CdSO}_4 \cdot \frac{8}{3} \text{H}_2\text{O}$ .

Насыщенный раствор сернокадмиевой соли наливаются в оболочку немного выше соединительной поперечной трубки.

Заряженная таким образом оболочка нормального элемента запаивается при помощи двух паяльных горелок, направленных с противоположных сторон.

### Воспроизводимость и устойчивость нормальных элементов Вестона.

Международная Конференция по электрическим единицам и эталонам 1908 года выработала краткую спецификацию <sup>1)</sup> и в дополнение к ней в особом сборнике дала описание различных методов, применяемых в National Physical Laboratory, National Bureau of Standards, Physikalisch-Technische Reichsanstalt и Laboratoire Central d'Electricité для приготовления нормальных элементов Вестона.

Таким образом полной и строго определенной международной спецификации для изготовления нормальных элементов нет.

<sup>1)</sup> International Conference on Electrical Units and Standards 1908. Appendix to the report. London 1909.

Приняв за основу вышеозначенную спецификацию, мы разработали детальную спецификацию для Главной Палаты мер и весов. Начиная с 1923 года и кончая мартом 1929 года, нами было изготовлено и изучено 450 нормальных элементов.

Изготовленные элементы погружаются в специальную ванну с вазелиновым маслом и хранятся в центральной лаборатории при достаточно постоянной температуре, суточные колебания которой не превышают  $0^{\circ},2$ .

Электрические сравнения нормальных элементов производится компенсационным методом на приборе O. Wolffa, при чем чувствительность гальванометра составляет около  $0,4 \times 10^{-5}$  вольта на одно деление шкалы. Подробности сравнения нормальных элементов помещены в статье М. Ф. Маликова <sup>1)</sup>.

Электродвижущие силы вновь приготовляемых нормальных элементов мы выражаем в среднем значении основной эталонной группы, изготовленной в 1910 году А. Б. Ферингер совместно с F. E. Smith'om в National Physical Laboratory.

Нормальные элементы, приготовленные нами, подверглись в 1926—27 г. сравнению с эталоном электродвижущей силы метрологических лабораторий некоторых стран <sup>2)</sup>. На основании результатов сравнения есть основание думать, что вольт Главной Палаты уменьшился с 1910 года приблизительно на  $6 \times 10^{-5}$  международного вольта. Для иллюстрации мы приведем только таблицу сравнения элементов в National Physical Laboratory, при чем электродвижущие силы нормальных элементов даны в значении Главной Палаты мер и весов и в значении National Physical Laboratory

Таблица 5.

№ элемента год	Электродвижущая сила при $20^{\circ} \text{C}$ в международных вольтах		
	N. P. L.	Гл. Палата	Гл. Палата— N. P. L.
218	1,01832 <sub>2</sub>	1,01839 <sub>0</sub>	$+ 6,8 \times 10^{-5}$
221	1,01833 <sub>0</sub>	1,01839 <sub>1</sub>	$+ 6,1 \times 10^{-5}$
2715 <sup>3)</sup>	1,01827 <sub>0</sub>	1,01834 <sub>0</sub>	$+ 6,1 \times 10^{-5}$
2718 <sup>3)</sup>	1,01827 <sub>2</sub>	1,01833 <sub>0</sub>	$+ 6,1 \times 10^{-5}$
Средняя ЭДС	1,01830 <sub>2</sub>	1,01836 <sub>0</sub>	$+ 6,3 \times 10^{-5}$

Из рассмотрения этой таблицы видно, что средняя электродвижущая сила элементов № 218 и 221, изготовленных в марте 1927 года, выра-

<sup>1)</sup> Временник 1 (13), 142 (1925).

<sup>2)</sup> Comptes Rendus des séances de la Septième Conférence Générale des Poids et Mesures réunie à Paris en 1927.—M. F. Malikov et A. C. Kolossov, p. 122.

<sup>3)</sup> Элементы приготовлены в N. P. L. с прибавлением свободной  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и любезно переданы Главной Палате мер и весов.

женная в значении международного вольты Главной Палаты мер и весов, равна 1,01839<sub>0</sub>, а в значении международного вольты National Physical Laboratory равна 1,01832<sub>0</sub>, т. е. на 64 микровольта меньше по отношению к Главной Палате. С другой стороны, значение международного вольты Physikalisch-Technische Reichsanstalt'a совпадает с значением Главной Палаты. Окончательные результаты могут быть получены лишь после предложенного Электрическим Консультативным Комитетом международного сравнения электрических эталонов.

В настоящее время мы подготовили смену действующей эталонной группы нормальных элементов. Электродвижущая сила новой эталонной группы будет определена посредством серебряного вольтметра и ртутных образцов международного ома.

В апреле 1923 г. была заряжена первая группа нормальных элементов в количестве 8 штук. Необходимые материалы приготовлялись согласно методам описанным нами выше. Сернистая закись ртути была изготовлена путем ее осаждения из раствора серной кислоты. При приготовлении пасты Hg<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> отмывалась от кислоты насыщенным раствором CdSO<sub>4</sub> в тигле Гуча при слабом отсасывании воздуха посредством насоса Гедде. Амальгама взята 10%-ная, полученная электролитическим путем.

Таблица 6.

№ элемента	Время приготовления	Электродвижущая сила при 20° С в международных вольтах 1,01800 <sub>0</sub> +									
		1 м.	2 м.	4 м.	6 м.	10 м.	1 г.	1 г. 1 м.	1 г. 6 м.	1 г. 8 м.	2 г.
1	27 апреля 1923 г.	—	—	34 <sub>n</sub>	34 <sub>2</sub>	34 <sub>4</sub>	33 <sub>2</sub>	34 <sub>0</sub>	31 <sub>6</sub>	32 <sub>4</sub>	31 <sub>4</sub>
2		35 <sub>5</sub>	36 <sub>4</sub>	36 <sub>2</sub>	36 <sub>9</sub>	37 <sub>4</sub>	36 <sub>2</sub>	37 <sub>4</sub>	37 <sub>4</sub>	37 <sub>5</sub>	37 <sub>7</sub>
3		35 <sub>8</sub>	36 <sub>4</sub>	36 <sub>4</sub>	36 <sub>2</sub>	37 <sub>2</sub>	36 <sub>2</sub>	35 <sub>9</sub>	31 <sub>2</sub>	30 <sub>0</sub>	28 <sub>9</sub>
4		38 <sub>8</sub>	36 <sub>3</sub>	36 <sub>7</sub>	36 <sub>0</sub>	37 <sub>5</sub>	—	—	—	—	—
5		32 <sub>2</sub>	35 <sub>7</sub>	36 <sub>2</sub>	36 <sub>2</sub>	37 <sub>1</sub>	36 <sub>5</sub>	37 <sub>5</sub>	36 <sub>9</sub>	36 <sub>5</sub>	35 <sub>9</sub>
7		34 <sub>n</sub>	36 <sub>2</sub>	36 <sub>2</sub>	36 <sub>1</sub>	37 <sub>1</sub>	—	—	—	—	—
8		34 <sub>2</sub>	36 <sub>8</sub>	37 <sub>0</sub>	37 <sub>0</sub>	38 <sub>1</sub>	37 <sub>0</sub>	—	—	—	—
11		32 <sub>7</sub>	35 <sub>0</sub>	36 <sub>2</sub>	36 <sub>1</sub>	37 <sub>0</sub>	36 <sub>4</sub>	36 <sub>2</sub>	—	—	—

Как видно из таблицы 6, электродвижущая сила большинства элементов установилась только через два месяца после их приготовления. Среднее изменение электродвижущей силы за 1-й год составляет +11 микровольт, а за 2-й год—4 микровольта. Электродвижущая сила всех элементов, начиная со 2-го месяца, колеблется в узком пределе, но через 1 год элементы № 1 и 3 показывают резкое падение электродвижущей силы.

В январе 1924 года была приготовлена группа элементов в количестве 17 штук. Hg<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> получена путем химического осаждения и



сохранялась под насыщенным раствором  $CdSO_4$ . При приготовлении пасты  $Hg_2SO_4$  была измельчена и при промывке ее насыщенным раствором  $CdSO_4$  раствор сильно отсасывался. Амальгама взята 12,5%, полученная тепловым методом.

Таблица 7.

№ элемент- тов	Время при- готовления	Электродвижущая сила при 20° в международных вольтах 1,01800 <sub>0</sub> +										
		1 м.	5 м.	10 м.	1 г.	1 г. 2 м.	1 г. 9 м.	2 г. 3 м.	3 г. 6 м.	4 г. 4 м.	4 г. 7 м.	4 г. 10 м.
6	24 января 1924 г.	55 <sub>5</sub>	49 <sub>5</sub>	48 <sub>0</sub>	47 <sub>5</sub>	—	—	—	—	45 <sub>0</sub>	—	41 <sub>0</sub>
9		57 <sub>0</sub>	52 <sub>5</sub>	51 <sub>0</sub>	—	47 <sub>0</sub>	47 <sub>0</sub>	45 <sub>5</sub>	46 <sub>5</sub>	43 <sub>7</sub>	43 <sub>5</sub>	—
12		57 <sub>0</sub>	52 <sub>0</sub>	51 <sub>0</sub>	—	—	48 <sub>0</sub>	47 <sub>0</sub>	44 <sub>0</sub>	44 <sub>0</sub>	42 <sub>5</sub>	43 <sub>1</sub>
13		54 <sub>5</sub>	50 <sub>0</sub>	49 <sub>5</sub>	49 <sub>0</sub>	49 <sub>0</sub>	47 <sub>5</sub>	45 <sub>0</sub>	46 <sub>0</sub>	—	—	—
15		57 <sub>0</sub>	52 <sub>5</sub>	51 <sub>0</sub>	50 <sub>5</sub>	50 <sub>0</sub>	48 <sub>5</sub>	48 <sub>5</sub>	47 <sub>0</sub>	40 <sub>7</sub>	—	40 <sub>5</sub>

Из таблицы 7 и рис. 21 видно изменение электродвижущей силы элементов почти за 5 лет. Очень высокая начальная электродвижущая сила нормальных элементов, в среднем 1,01856<sub>0</sub> вольта, объясняется, по нашему мнению, размельчением кристаллов  $Hg_2SO_4$  и отчасти окислением кислородом воздуха  $Hg_2SO_4$  в тигле Гуча. Средняя электродвижущая сила элементов № 6, 9, 12, 13 и 15 за 1 год уменьшилась на 69, за 2-й год на 24, за 3-й год на 11, за 4-й год на 16 и за 5-й год на 25 микровольт. Средняя электродвижущая сила в начале 5-го года все же оставалась выше, чем это наблюдается в элементах, заряженных с неизменной солью.

В таблице 8-й приведены результаты измерения электродвижущей силы элементов, приготовленных различными методами. Элементы № 26 и 29 относятся к группе элементов, приготовленных аналогично элементам, приготовленным в апреле 1923 г. Начальная электродвижущая сила элементов и электродвижущая сила через 4 года почти одинаковы. Оба элемента устойчивы, при чем элемент № 26 находится постоянно в работе при компенсационном приборе. Элемент № 30 и 33 приготовлены с  $Hg_2SO_4$ , полученной путем электролиза на постоянном токе. Амальгама взята 10%-ная, приготовленная электролитическим путем. Элемент № 30 отличается от элемента № 33 тем, что употребленная для его зарядки  $Hg_2SO_4$  сохранилась под слоем насыщенного раствора  $CdSO_4$ , тогда как для элемента № 33—под раствором  $H_2SO_4$  (1:6) и кроме того  $Hg_2SO_4$  для элемента № 30 сильно отсасывалась в тигле Гуча током воздуха. Начальная высокая электродвижущая сила элемента № 30 и значительное падение ее на 4-м году можно объяснить явлением гидролиза, расщепляющего  $Hg_2SO_4$  и являющегося разрушителем нормальных элементов.

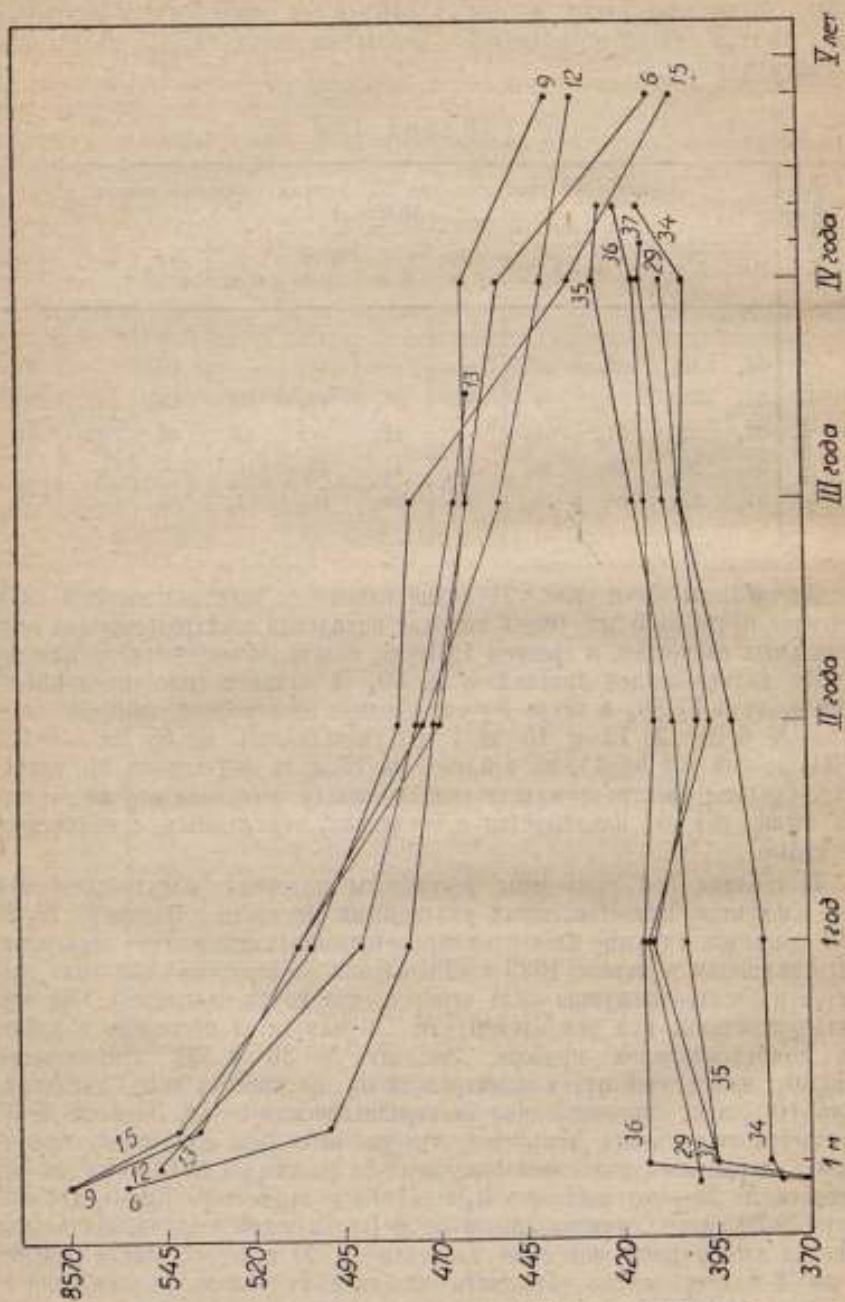


Рис. 21.

Таблица 8.

№ элемента год	Время при- готовления	Электродвижущая сила при 20° и международных вольтях 1,01800 <sub>0</sub> +										
		1 м.	2 м.	3 м.	6 м.	9 м.	1 г. 6 м.	11 м.	2 г. 5 м.	3 г. 2 м.	4 г.	4 г. 4 м.
26	4 июля 1924 г.	36 <sub>9</sub>	38 <sub>0</sub>	39 <sub>2</sub>	—	—	—	—	40 <sub>2</sub>	—	—	—
29		40 <sub>0</sub>	40 <sub>1</sub>	40 <sub>5</sub>	40 <sub>2</sub>	40 <sub>6</sub>	40 <sub>8</sub>	39 <sub>4</sub>	41 <sub>1</sub>	40 <sub>0</sub>	40 <sub>6</sub>	—
30		44 <sub>0</sub>	44 <sub>5</sub>	44 <sub>4</sub>	44 <sub>5</sub>	44 <sub>1</sub>	40 <sub>7</sub>	39 <sub>4</sub>	35 <sub>0</sub>	35 <sub>6</sub>	33 <sub>2</sub>	—
33		36 <sub>0</sub>	36 <sub>6</sub>	37 <sub>2</sub>	36 <sub>9</sub>	38 <sub>0</sub>	39 <sub>0</sub>	38 <sub>7</sub>	39 <sub>0</sub>	39 <sub>5</sub>	39 <sub>0</sub>	38 <sub>2</sub>
34	12 июля 1924 г.	37 <sub>9</sub>	38 <sub>1</sub>	38 <sub>0</sub>	37 <sub>8</sub>	37 <sub>6</sub>	39 <sub>0</sub>	38 <sub>8</sub>	40 <sub>6</sub>	—	—	41 <sub>1</sub>
35		37 <sub>4</sub>	39 <sub>5</sub>	39 <sub>6</sub>	39 <sub>9</sub>	40 <sub>2</sub>	—	40 <sub>5</sub>	41 <sub>7</sub>	—	—	42 <sub>4</sub>
36		37 <sub>1</sub>	41 <sub>4</sub>	41 <sub>9</sub>	41 <sub>5</sub>	41 <sub>6</sub>	41 <sub>0</sub>	—	41 <sub>4</sub>	—	—	42 <sub>0</sub>
37		—	39 <sub>5</sub>	40 <sub>0</sub>	40 <sub>1</sub>	40 <sub>7</sub>	41 <sub>0</sub>	—	—	40 <sub>9</sub>	—	41 <sub>7</sub>
39		—	43 <sub>7</sub>	43 <sub>8</sub>	43 <sub>2</sub>	43 <sub>1</sub>	43 <sub>6</sub>	44 <sub>4</sub>	—	44 <sub>4</sub>	44 <sub>7</sub>	45 <sub>9</sub>
40		42 <sub>5</sub>	43 <sub>9</sub>	43 <sub>9</sub>	43 <sub>6</sub>	43 <sub>6</sub>	43 <sub>0</sub>	42 <sub>2</sub>	—	44 <sub>4</sub>	—	—
41		37 <sub>0</sub>	37 <sub>9</sub>	37 <sub>4</sub>	37 <sub>0</sub>	37 <sub>6</sub>	37 <sub>9</sub>	37 <sub>8</sub>	—	39 <sub>4</sub>	39 <sub>6</sub>	39 <sub>5</sub>
42		—	37 <sub>7</sub>	37 <sub>6</sub>	37 <sub>6</sub>	37 <sub>5</sub>	38 <sub>8</sub>	38 <sub>1</sub>	—	—	—	—

Элементы № 34, 35, 36, 37 приготовлены так же, как элементы 26 и 29, за исключением того, что амальгама взята 12,5%. На рис. 21 видно изменение электродвижущей силы элементов за 4 года. За 1-й год средняя электродвижущая сила увеличилась на 25 микровольт, при чем уже через 2 месяца после изготовления электродвижущая сила увеличилась на 17 микровольт. За 2-й год электродвижущая сила уменьшилась на 5, за 3-й год увеличилась на 9, а за 4-й год увеличилась на 14 микровольт.

Интересно сравнить характер кривых, изображенных на рис. 21, двух групп элементов. Из этих кривых ясно видно, что элементы с ненормальной электродвижущей силой, вследствие некоторых явлений (наличия гидролиза, измельчения кристаллов, присутствия свободной серной кислоты), стремятся как бы уничтожить эти ненормальные явления и приблизиться к элементам с обычной электродвижущей силой. Действительно, в данном случае мы видим, что электродвижущие силы 1-й группы уменьшаются, а 2-й группы немного увеличиваются и становятся одинаковыми, несмотря на большое первоначальное расхождение. Подобное явление отмечается и на ряде других групп элементов.

Заряженные в то же время элементы № 39 и 40 приготовлены также, как элементы № 30, а элементы № 41 и 42 аналогичны элементу № 33. Элемент № 30 через 7 месяцев по приготовлении обнаружил большое падение электродвижущей силы.

В марте 1925 года было заряжено 24 элемента с 10%-ной амальгамой, полученной тепловым методом и  $Hg_2SO_4$ , полученной осаждением

из раствора серной кислоты. При изготовлении пасты для элементов от № 43 до № 54 применялась  $Hg_2SO_4$ , сохранявшаяся под слоем  $H_2SO_4$  (1:6) и отжатая сравнительно слабо, а для элементов от № 55 до № 66  $Hg_2SO_4$  сохранялась под слоем  $CdSO_4$ , подкисленного  $H_2SO_4$ .

Таблица 9.

№№ элемент- тов	Время при- готовления	Электродвижущая сила при 20° в международных вольтах 1,01800 <sub>0</sub> +									
		1 м.	3 м.	5 м.	1 г.	9 м.	2 г. 4 м.	2 г. 6 м.	2 г. 10 м.	3 г. 3 м.	3 г. 8 м.
43	20 марта 1925 г.	39 <sub>2</sub>	38 <sub>8</sub>	40 <sub>3</sub>	39 <sub>0</sub>	39 <sub>9</sub>	39 <sub>7</sub>	41 <sub>2</sub>	—	—	—
54		40 <sub>0</sub>	39 <sub>1</sub>	38 <sub>6</sub>	39 <sub>1</sub>	38 <sub>9</sub>	36 <sub>7</sub>	37 <sub>8</sub>	35 <sub>4</sub>	34 <sub>7</sub>	34 <sub>2</sub>
57		42 <sub>8</sub>	—	—	41 <sub>8</sub>	40 <sub>1</sub>	39 <sub>0</sub>	—	41 <sub>4</sub>	—	—
58		42 <sub>2</sub>	—	—	42 <sub>8</sub>	—	—	—	—	43 <sub>8</sub>	—

Из таблицы 9 видно, что электродвижущая сила первой группы элементов ниже, — особенно в течение первого года.

В декабре 1925 года было заряжено 26 элементов, применяя различные методы обработки  $Hg_2SO_4$ . Элементы от № 70 до № 79 имеют  $Hg_2SO_4$ , полученную путем химического осаждения, сохранявшуюся под слоем  $CdSO_4$  и промытую насыщенным раствором  $CdSO_4$ . Сернистая закись ртути была сильно отжата от жидкости. Элементы от № 80 до № 96 имеют  $Hg_2SO_4$ , сохранявшуюся под слоем серной кислоты (1:6), при чем  $Hg_2SO_4$  в элементах № 82 и 83 была быстро промыта в тигле Гуча и слабо отжата. В элементах № 80, 81 и от № 85 до № 93 употреблялась  $Hg_2SO_4$ , измельченная в мелкий порошок.

Таблица 10.

№№ элемент- тов	Время при- готовления	Электродвижущая сила при 20° в международных вольтах 1,01800 <sub>0</sub> +									
		1 м.	2 м.	3 м.	6 м.	8 м.	11 м.	1 г. 1 м.	2 г. 2 м.	2 г. 5 м.	3 г.
70	16 декабря 1925 г.	43 <sub>9</sub>	44 <sub>4</sub>	44 <sub>0</sub>	43 <sub>5</sub>	42 <sub>9</sub>	43 <sub>1</sub>	43 <sub>7</sub>	40 <sub>4</sub>	—	40 <sub>9</sub>
78		44 <sub>9</sub>	46 <sub>1</sub>	46 <sub>4</sub>	45 <sub>9</sub>	44 <sub>2</sub>	42 <sub>5</sub>	42 <sub>5</sub>	—	—	—
79		45 <sub>7</sub>	45 <sub>5</sub>	45 <sub>7</sub>	42 <sub>9</sub>	43 <sub>2</sub>	42 <sub>1</sub>	42 <sub>7</sub>	—	—	—
80		46 <sub>3</sub>	—	44 <sub>4</sub>	42 <sub>2</sub>	41 <sub>8</sub>	41 <sub>0</sub>	41 <sub>2</sub>	—	—	—
82		37 <sub>5</sub>	—	40 <sub>1</sub>	40 <sub>0</sub>	—	—	—	—	—	—
83		—	37 <sub>1</sub>	39 <sub>1</sub>	40 <sub>4</sub>	40 <sub>1</sub>	40 <sub>2</sub>	39 <sub>1</sub>	40 <sub>4</sub>	40 <sub>9</sub>	—
90		43 <sub>5</sub>	43 <sub>7</sub>	43 <sub>9</sub>	—	42 <sub>0</sub>	—	45 <sub>0</sub>	—	—	44 <sub>2</sub>
92		43 <sub>8</sub>	43 <sub>9</sub>	43 <sub>9</sub>	—	42 <sub>4</sub>	—	44 <sub>1</sub>	—	—	42 <sub>5</sub>



Из таблицы 10 видны результаты измерения электродвижущей силы элементов, для приготовления которых применялись различные способы обработки  $Hg_2SO_4$ .

Элементы № 90 и 92 перенесли перевозку в Америку и обратно (около 20 000 км), при чем электродвижущая сила изменилась на 15 микро-вольт, но затем при перевозке в Англию электродвижущая сила их сильно возросла вследствие перемешивания составных веществ в катодном колене. Интересно сравнить их электродвижущую силу с элементом № 80, изготовленным так же, как и № 90 и 92, и оставленным в лаборатории.

В апреле 1926 г. было заряжено несколько партий нормальных элементов,  $Hg_2SO_4$  для элементов № 97—109 и 110—117 получена химическим осаждением, отмыта от кислоты и сохранялась под насыщенным раствором  $CdSO_4$ . Электродвижущая сила элементов № 106 и 110 этих двух групп, как видно из таблицы 11, оказалась устойчивой и мало отличающейся друг от друга.

Таблица 11.

№№ элементов	Время приготовления	Электродвижущая сила при 20° в международных вольтах $1,01800_0 +$					
		1 м.	2 м.	7 м.	1 г. 2 м.	2 г. 1 м.	2 г. 7 м.
106	5.IV.1926	40 <sub>9</sub>	41 <sub>5</sub>	41 <sub>7</sub>	40 <sub>6</sub>	40 <sub>8</sub>	40 <sub>4</sub>
110		42 <sub>4</sub>	42 <sub>0</sub>	41 <sub>5</sub>	40 <sub>9</sub>	41 <sub>2</sub>	—
118	16.IV.1926	17 <sub>9</sub>	18 <sub>1</sub>	17 <sub>5</sub>	—	17 <sub>2</sub>	18 <sub>0</sub>
130	24.IV.1926	41 <sub>2</sub>	41 <sub>4</sub>	38 <sub>8</sub>	39 <sub>4</sub>	38 <sub>4</sub>	—
131		41 <sub>2</sub>	41 <sub>4</sub>	39 <sub>4</sub>	37 <sub>9</sub>	37 <sub>9</sub>	37 <sub>9</sub>
133		41 <sub>8</sub>	41 <sub>4</sub>	41 <sub>7</sub>	37 <sub>8</sub>	—	—
137		41 <sub>8</sub>	41 <sub>2</sub>	—	—	—	36 <sub>8</sub>
140		41 <sub>5</sub>	42 <sub>7</sub>	—	—	37 <sub>4</sub>	—

В то же время была заряжена партия элементов в 12 штук, при чем  $Hg_2SO_4$  была получена электролизом на постоянном токе и промыта абсолютным спиртом, который не был совершенно удален, и соль слабо отжата. Эти элементы дали очень пеструю картину электродвижущих сил, хотя некоторые из них и дали постоянную, но низкую электродвижущую силу, как, напр., элемент № 118.

$Hg_2SO_4$  для элементов № 130—139 и другой партии элементов № 140—146 получалась путем электролиза, сохранялась под слоем  $H_2SO_4$  (1 : 6) и умеренно отсасывалась при промывке насыщенным раствором  $CdSO_4$ . Электродвижущая сила этих групп элементов была довольно одинакова, как это видно из таблицы 11.

В конце апреля 1926 года были заряжены элементы от № 150 до № 157 с 10%-ной амальгамой, полученной тепловым методом, и  $Hg_2SO_4$ .

приготовленной химическим осаждением, промытой насыщенным раствором  $CdSO_4$  и сохранявшейся под слоем  $CdSO_4$ . Начальная электродвижущая сила, как это видно из таблицы 12, через два дня по изготовлении уже была устойчива.

Таблица 12.

№№ элементов	Время приготовления	Электродвижущая сила при 20° в международных вольтках 1,01800, +						
		2 дня	1 м.	2 м.	5 м.	8 м.	1 г.	
150	30.IV.1926	36 <sub>5</sub>	36 <sub>5</sub>	36 <sub>1</sub>	—	36 <sub>8</sub>	36 <sub>1</sub>	
151		36 <sub>5</sub>	36 <sub>5</sub>	36 <sub>5</sub>	—	37 <sub>0</sub>	36 <sub>2</sub>	
153		37 <sub>8</sub>	36 <sub>5</sub>	36 <sub>5</sub>	—	36 <sub>7</sub>	36 <sub>2</sub>	
154		—	—	—	—	—	—	
155		35 <sub>8</sub>	35 <sub>6</sub>	35 <sub>4</sub>	—	36 <sub>5</sub>	—	
157		35 <sub>7</sub>	36 <sub>5</sub>	36 <sub>2</sub>	—	36 <sub>3</sub>	—	
163		40 <sub>7</sub>	39 <sub>7</sub>	39 <sub>7</sub>	38 <sub>4</sub>	—	39 <sub>0</sub>	
164		41 <sub>6</sub>	39 <sub>2</sub>	40 <sub>1</sub>	39 <sub>1</sub>	40 <sub>2</sub>	—	
166		40 <sub>9</sub>	39 <sub>4</sub>	39 <sub>7</sub>	38 <sub>2</sub>	39 <sub>6</sub>	—	
168		41 <sub>3</sub>	38 <sub>2</sub>	—	38 <sub>4</sub>	38 <sub>2</sub>	—	
169	1.VI.1926	41 <sub>4</sub>	39 <sub>6</sub>	39 <sub>7</sub>	40 <sub>4</sub>	39 <sub>2</sub>	—	
173		—	43 <sub>4</sub>	—	41 <sub>0</sub>	40 <sub>7</sub>	—	
174		—	42 <sub>2</sub>	—	—	40 <sub>4</sub>	41 <sub>5</sub>	
180		—	42 <sub>0</sub>	—	40 <sub>3</sub>	41 <sub>3</sub>	41 <sub>3</sub>	
181		—	41 <sub>9</sub>	—	40 <sub>0</sub>	—	40 <sub>1</sub>	
190		40 <sub>4</sub>	40 <sub>6</sub>	—	—	—	—	
193		13.XI 1926	40 <sub>6</sub>	39 <sub>4</sub>	40 <sub>2</sub>	—	39 <sub>0</sub>	—
194			40 <sub>2</sub>	39 <sub>3</sub>	40 <sub>2</sub>	—	39 <sub>5</sub>	—
213			37 <sub>0</sub>	38 <sub>0</sub>	—	—	40 <sub>5</sub>	39 <sub>2</sub>
211		5.II.1927	38 <sub>2</sub>	38 <sub>7</sub>	—	—	39 <sub>5</sub>	39 <sub>1</sub>
226	37 <sub>2</sub>		37 <sub>2</sub>	—	—	—	38 <sub>5</sub>	

Из этой партии часть элементов пошла для составления новой эталонной группы нормальных элементов <sup>1)</sup>. Микроструктура пасты элемента № 154, взятая из работавшего элемента, показала, что кристаллы  $Hg_2SO_4$  средней величины и хорошо образованы.

В июне заряжены нормальные элементы № 161—169 по той же спецификации, что и элементы, заряженные в апреле, но электродвижу-

<sup>1)</sup> Подробности изучения новой эталонной группы даны в статье Е. С. Чураковой, помещенной в этом выпуске Временика.

щая сила их получилась выше, хотя достаточно устойчивой. Амальгама взята 12,5%, полученная тепловым методом. В тот же день были заряжены элементы № 170—182 по той же спецификации, только соль отмывалась энергичнее, чем в первом случае; начальная электродвижущая сила достигла у некоторых элементов 1,01843, вольт.

Заряженные в ноябре 1926 г. элементы № 190—199 и в марте 1927 г. элементы № 211—227, изготовленные по той же спецификации, как и остальные элементы, указанные в таблице 12, дали довольно устойчивую электродвижущую силу и близкую по величине к этим элементам.

Таблица 13.

№№ элементов	Время приготовления	Электродвижущая сила при 20° в международных вольтх 1,01800 <sub>0</sub> ±						
		2 дни	1 м.	2 м.	6 м.	9 м.	1 г. 4 м.	1 г. 10 м.
219	5.III.1927	31 <sub>0</sub>	39 <sub>4</sub>	41 <sub>9</sub>	42 <sub>2</sub>	42 <sub>0</sub>	—	—
220		29 <sub>6</sub>	39 <sub>1</sub>	41 <sub>9</sub>	41 <sub>6</sub>	41 <sub>0</sub>	—	—
214	14.I.1927	—	37 <sub>8</sub>	—	—	41 <sub>0</sub>	42 <sub>4</sub>	42 <sub>3</sub>
215		—	23 <sub>6</sub>	—	—	43 <sub>3</sub>	42 <sub>4</sub>	42 <sub>3</sub>
216		—	35 <sub>1</sub>	—	—	41 <sub>4</sub>	41 <sub>2</sub>	41 <sub>0</sub>
250	16.VI.1927	—	—	26 <sub>1</sub>	33 <sub>7</sub>	42 <sub>2</sub>	42 <sub>2</sub>	42 <sub>1</sub>
256	17.IX.1927	—	37 <sub>2</sub>	39 <sub>5</sub>	38 <sub>3</sub>	—	—	40 <sub>3</sub>
258		—	29 <sub>6</sub>	35 <sub>5</sub>	38 <sub>4</sub>	—	—	42 <sub>0</sub>

В таблице 13 приведены электродвижущие силы элементов, заряженных Hg<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, полученной от фирмы E. de Haen, Seelze bei Hannover.

Элементы, заряженные этой пастой, обнаружили очень большой «период вызревания», в некоторых элементах затнувшийся на несколько месяцев, но затем электродвижущая сила их устанавливается и они становятся постоянными. Конечно, и здесь играет роль обработка сернистой закиси ртути при зарядке элементов.

В мае 1928 г. нами было заряжено две группы элементов по той же спецификации, по которой изготовлены элементы, приведенные в таблице 12, с той лишь разницей, что кислота отсасывалась от Hg<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> совершенно, так что в тигле Гуча получался белый совершенно рассыпчатый порошок. Затем Hg<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> была промыта насыщенным раствором CdSO<sub>4</sub>, при чем каждый раз промывная жидкость сильно отсасывалась.

Таблица 14.

№№ элемент- тов	Время при- готовления	ЭДС при 20° в м. в 1,01800 <sub>9</sub> +			№№ элемент- тов	Время при- готовления	ЭДС при 20° в м. в 1,01800 <sub>0</sub> +		
		1 м.	3 м.	4 м.			1 м.	3 м.	4 м.
318	25 мая 1928 г.	45 <sub>9</sub>	45 <sub>3</sub>	45 <sub>11</sub>	331	44 <sub>8</sub>	44 <sub>4</sub>	44 <sub>0</sub>	
319		46 <sub>0</sub>	45 <sub>11</sub>	44 <sub>9</sub>	332	45 <sub>5</sub>	44 <sub>8</sub>	48 <sub>2</sub>	
320		46 <sub>2</sub>	45 <sub>2</sub>	44 <sub>9</sub>	333	45 <sub>0</sub>	44 <sub>7</sub>	45 <sub>1</sub>	
322		45 <sub>9</sub>	44 <sub>9</sub>	44 <sub>8</sub>	334	45 <sub>7</sub>	44 <sub>8</sub>	45 <sub>2</sub>	
323		46 <sub>2</sub>	45 <sub>1</sub>	45 <sub>0</sub>	336	44 <sub>8</sub>	44 <sub>4</sub>	44 <sub>5</sub>	
324		46 <sub>2</sub>	45 <sub>4</sub>	44 <sub>6</sub>	337	45 <sub>2</sub>	45 <sub>0</sub>	45 <sub>0</sub>	
325		45 <sub>7</sub>	44 <sub>9</sub>	44 <sub>8</sub>	338	44 <sub>9</sub>	44 <sub>8</sub>	45 <sub>0</sub>	
327		46 <sub>5</sub>	45 <sub>2</sub>	44 <sub>8</sub>	339	44 <sub>8</sub>	44 <sub>8</sub>	45 <sub>1</sub>	
328		45 <sub>8</sub>	45 <sub>0</sub>	44 <sub>5</sub>	340	45 <sub>7</sub>	45 <sub>2</sub>	46 <sub>1</sub>	
329		45 <sub>3</sub>	44 <sub>9</sub>	43 <sub>9</sub>	341	45 <sub>0</sub>	44 <sub>2</sub>	45 <sub>2</sub>	
330		46 <sub>5</sub>	45 <sub>2</sub>	44 <sub>2</sub>	342	46 <sub>0</sub>	45 <sub>3</sub>	46 <sub>2</sub>	
335		45 <sub>7</sub>	44 <sub>8</sub>	44 <sub>7</sub>	343	46 <sub>0</sub>	45 <sub>2</sub>	46 <sub>1</sub>	

Как видно из таблицы 14, изготовленные элементы имеют устойчивую электродвижущую силу с небольшим уменьшением на протяжении 4-х месяцев, но величина электродвижущей силы выше обычно получаемой по нашей спецификации. Причина столь высокой электродвижущей силы может быть объяснена присутствием окисной соли  $HgSO_4$ , получившейся под влиянием окисления в тигле Гуча кислородом воздуха.

Таблица 15.

№№ элемент- тов	Время при- готовления	ЭДС при 20° в м. в 1,018000 +			№№ элемент- тов	Время при- готовления	ЭДС при 20° в м. в 1,018000 +			
		2 дня	4 дня	1 м.			2 дня	4 дня	1 м.	
387	26 ноября 1928 г.	48 <sub>0</sub>	45 <sub>5</sub>	41 <sub>4</sub>	Пятиколенный элемент					
389		45 <sub>4</sub>	45 <sub>2</sub>	41 <sub>4</sub>	409	26 ноября 1928 г.	46 <sub>7</sub>	45 <sub>2</sub>	41 <sub>1</sub>	
390		49 <sub>0</sub>	46 <sub>8</sub>	41 <sub>0</sub>			410	47 <sub>1</sub>	44 <sub>0</sub>	41 <sub>4</sub>
391		47 <sub>2</sub>	45 <sub>4</sub>	41 <sub>8</sub>			411	52 <sub>5</sub>	49 <sub>0</sub>	44 <sub>0</sub>
392		48 <sub>0</sub>	46 <sub>4</sub>	42 <sub>4</sub>			412	53 <sub>2</sub>	48 <sub>7</sub>	43 <sub>2</sub>
393		49 <sub>2</sub>	47 <sub>3</sub>	41 <sub>8</sub>						
394		48 <sub>7</sub>	45 <sub>8</sub>	41 <sub>9</sub>						
395		46 <sub>7</sub>	45 <sub>2</sub>	41 <sub>7</sub>						



В ноябре 1928 г. мы зарядили 8 двухколенных элементов и 1 пятиколенный элемент. Элементы были приготовлены по принятой нами спецификации, но при получении  $H_2SO_4$  мы выливали в кипящий раствор серной кислоты, капля по капле, раствор азотнокислой закиси ртути. При приготовлении пасты жидкость отсасывалась умеренно и только в элементах № 411 и 412 пятиколенной формы производилось энергичное отсасывание промывной жидкости. Когда через два дня по приготовлении была определена электродвижущая сила элементов № 409 и 410, она оказалась



Рис. 22.

очень высокой, в среднем 1,01846<sub>2</sub> вольта, а элементы № 411 и 412 показали еще более высокую электродвижущую силу, в среднем на 60 микровольт. Через 4 дня по приготовлении электродвижущая сила уменьшилась, но все же оставалась высокой. Для того, чтобы выяснить причину ненормальных свойств элемента, мы вскрыли элемент № 393 и пасту его исследовали под микроскопом. На рис. 22 изображена микроструктура пасты при увеличении около 250 раз. Кристаллы большой величины, более 100 микрон длиной и 50 микрон шириною. Через месяц электродвижущая сила этих нормальных элементов понизилась, при чем средняя электродвижущая сила элементов № 409 и 410 понизилась до 1,01841<sub>2</sub> вольта, а элементов № 411 и 412 оказалось выше, в среднем, на 30 микровольт. Интересно отметить, что когда мы по прошествии одного месяца опять вскрыли элемент и исследовали пасту его под микро-

Таблица 16.

	1926 год			1927 год				1928 год			Число нормальных элементов	Электродвижущая сила при 20°C в международных вольтах
	Апрель	Июнь	Ноябрь	Январь	Март	Июнь	Сентябрь	Февраль	Март	Апрель		
152, 153, 155.	—	—	—	—	225	228, 242	—	—	—	—	6	1,01836
150, 151, 154, 156, 157.	—	—	—	200	223, 224.	230, 232, 233, 237, 238, 240.	254, 260.	271, 272, 273, 274, 277, 279.	—	—	22	1,01837
—	—	—	—	217	212, 213, 218, 221, 286.	229, 336, 239.	—	276	—	—	10	1,01838
—	165	192, 193, 194, 196, 198, 199, 218.	—	202, 203, 204, 205.	211, 227.	—	246, 257, 269, 270.	278	—	293, 298, 300.	22	1,01839
—	163, 164, 166, 167, 168, 169, 174, 175, 178, 181.	190, 191, 195, 197.	—	201, 206, 207, 208, 209.	—	231, 234, 235, 153.	245, 251, 252, 256, 264, 265, 267, 268, 270, 262.	—	—	294, 295, 308.	36	1,01840
—	161, 172, 173, 176, 177, 179, 180, 182.	—	—	—	—	241, 243, 247, 218, 249.	255	—	281, 282, 283.	290, 291, 292, 297, 301, 302, 303, 306, 307, 310, 311, 314, 315, 316.	31	1,01841
—	170, 171, 188.	—	—	214, 215.	186, 187, 189, 219.	250	—	—	285, 286, 287, 288, 289, 299.	304, 305, 309.	19	1,01842
—	171	—	—	—	—	258, 261, 263.	—	—	—	296, 317.	6	1,01843
1,01836 <sub>6</sub>	1,01841 <sub>6</sub>	1,01839 <sub>5</sub>	1,01839 <sub>5</sub>	1,01838 <sub>4</sub>	1,01839 <sub>6</sub>	1,01839 <sub>2</sub>	1,01838 <sub>0</sub>	1,01841 <sub>5</sub>	1,01840 <sub>6</sub>	152	Ср. ЭДС 1,01839 <sub>5</sub>	

Средняя электродвижущая сила всех 10 групп нормальных элементов является 1,01839<sub>5</sub> международного вольта.  
Среднее отклонение отдельных групп от средней всех 10 групп является ± 10 микровольтам.

Ср. откл. отд. элементов от ср. ЭДС ± 20 микровольт.

Таблица 17.

ЭДС	1920 год		1921 год				1922 год			Число отливок	ЭДС	
	Август	Сентябрь	Октябрь	Февраль	Апрель	Сентябрь	Ноябрь	Январь	Февраль			Апрель
1,01825				30	41, 42			69		81	1	1,01825
80			21	35, 39, 40				68		78, 79, 80 82, 87	5	80
31								60, 66 71			12	31
32		DeH <sub>10</sub>		23, 27	32, 33, 34			54, 64, 67		84, 86	9	32
33					31, 37, 38 43, 44, 46					85	9	33
34		DeH <sub>9</sub> , DeH <sub>10</sub> DeH <sub>11</sub> , DeH <sub>12</sub> DeH <sub>14</sub> , DeH <sub>15</sub>			45		52	65, 70			10	34
35		DeH <sub>7</sub> , SeH <sub>9</sub> DeH <sub>13</sub>	11, 18 19	22, 26, 28, 29	36			59, 61			13	35
36	13, 14			24, 25							5	36
37	12						49				2	37
38									72, 77		3	38
Ср. ЭДС 1,01833	1,01836 <sub>5</sub>	1,01835	1,01834	1,01833	1,01832 <sub>5</sub>	1,01836	1,01837	1,01831	1,01838	1,01831 <sub>5</sub>	69	Ср. ЭДС 1,01833

Среднее отклонение от средней ЭДС  $\pm 29$  микровольт

Средняя ЭДС всех групп 1,01834<sub>5</sub> м.-в.

Среднее отклонение отдельных групп от средней ЭДС всех групп  $\pm 20$  микровольт.

КОЛОСОВ А. К. ТАБЛИЦА 17.

копом, мы не нашли больших кристаллов. В настоящее время еще трудно сказать о причинах уничтожения крупных кристаллов, но самый факт уменьшения больших кристаллов представляет большой интерес, и мы попытаемся выяснить это явление.

Начиная с апреля 1926 года и по апрель 1928 г. мы приготовили 10 групп нормальных элементов по принятой нами спецификации<sup>1)</sup> с небольшими изменениями в приемах обработки  $Hg_2SO_4$ .

Как видно из таблицы 16, средняя электродвижущая сила всех групп элементов равна 1,01839 вольта, а среднее отклонение отдельных групп элементов от средней всех десяти групп  $\pm 10$  микровольт.

Интересно привести для сравнения воспроизводимость нормальных элементов, изготовленных в Physikalisch-Technische Reichsanstalt'e в 1920, 1921 и 1922 г.г.<sup>2)</sup> (таблица 17).

### Влияние серной кислоты на электродвижущую силу нормального элемента Вестона.

В декабре 1925 г. мы зарядили элемент № 96, насыщенный раствор  $CdSO_4$ , которого содержал приблизительно 0,15 мол. серной кислоты. Электродвижущая сила его, будучи постоянной при определении ее через 2 года и 11 месяцев, показала резкое падение (таблица 18). При осмотре этого элемента был обнаружен в анодном колене свертк амальгамы как бы пузырек газа, под влиянием которого кристаллы сернокадмиевой соли отделились от амальгамы и образовалась газовая прослойка, как это видно из рис. 23. Электродвижущая сила подобного элемента перестает быть постоянной, элемент делается нечувствительным, а иногда цепь размыкается и элемент не показывает никакой электродвижущей силы, как, например, в элементе, анодное колено которого изображено в увеличенном виде на рис. 24, а сам элемент изображен на рис. 25. Подобное же отделение кристаллов  $CdSO_4$  от амальгамы мы обнаружили у эле-

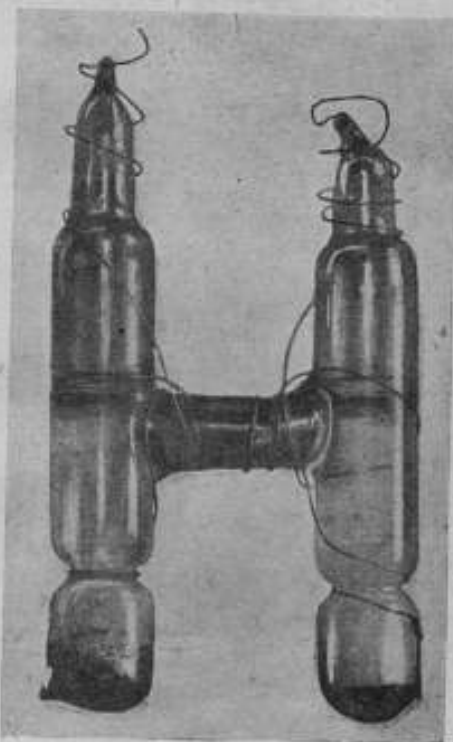


Рис. 23.

<sup>1)</sup> А. К. Колосов. Спецификация для изготовления нормальных элементов Вестона. Издание Главной Палаты № 60, 86 (1928).

<sup>2)</sup> H. v. Steinwehr und Schulze Nachprüfung der E. M. K. des Westonelements. Zeitschr. f. Instrumentenkunde 42, 22 (1922).





Рис. 24.

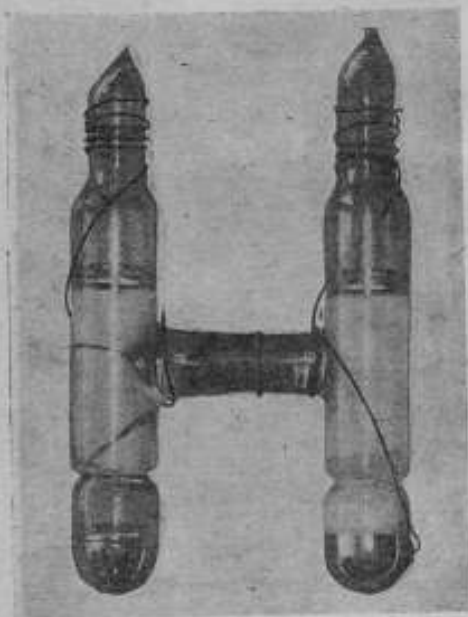


Рис. 25.



Рис. 26.

ментов № 2133, 2138, 2141 и 2142, изготовленных в 1921 г. в National Physical Laboratory с добавлением серной кислоты. Означенные элементы, доставлены в 1922 г. в Главную Палату и хранятся в эталонной электрической лаборатории вместе с элементами № 610, 611 и 612, изготовленными F. E. Smith'ом в 1913 г. с нейтральным раствором  $\text{CdSO}_4$ . У последних трех элементов никакого отделения амальгамы от кристаллов  $\text{CdSO}_4$  не наблюдается. По сообщению National Physical Laboratory нормальные элементы доставленные в 1922 году содержат 0,1 N серную кислоту. На рис. 26 изображен элемент № 2133.

В виду обнаружения вышеуказанной ненормальности, необходимо при изготовлении кис-

ных элементов стремиться к введению возможно малых количеств свободной серной кислоты.

В апреле 1926 г. мы приготовили два элемента с содержанием серной кислоты в элементе № 147 около 0,04 мол. серной кислоты, а в элементе № 149 менее 0,005 мол. серной кислоты (таблица 18).

Таблица 18.

№№ эле- ментов	Время при- готовления	Электродвижущая сила при 20° в межд. вольтах 1,01800 <sub>0</sub> +									H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> в мол.
		1 м.	2 м.	3 м.	1 г. 8 м.	2 г. 4 м.	2 г. 7 м.	3 г. 5 м.	3 г. 11 м.		
96	18. XII. 25	24 <sub>0</sub>	23 <sub>7</sub>	23 <sub>4</sub>	21 <sub>8</sub>	—	—	20 <sub>0</sub>	17 <sub>0</sub>	0,15	
147	28. IV. 26	33 <sub>1</sub>	32 <sub>8</sub>	32 <sub>0</sub>	33 <sub>0</sub>	34 <sub>1</sub>	34 <sub>8</sub>	—	—	0,04	
149	"	34 <sub>0</sub>	37 <sub>0</sub>	38 <sub>4</sub>	38 <sub>0</sub>	39 <sub>0</sub>	40 <sub>0</sub>	—	—	0,005	

Таблица 19.

№№ эле- ментов	Время при- готовления	ЭДС при 20° в м. в. 1,01800 <sub>0</sub> +		H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> в мол.
		1 нед.	1 м.	
353	24 октября 1928 года	39 <sub>0</sub>	40 <sub>0</sub>	0,004
354		39 <sub>3</sub>	41 <sub>5</sub>	0,004
355		37 <sub>5</sub>	40 <sub>7</sub>	0,004
356		38 <sub>0</sub>	41 <sub>1</sub>	0,004
357		35 <sub>0</sub>	39 <sub>8</sub>	0,004
358		37 <sub>1</sub>	40 <sub>0</sub>	0,004
359		41 <sub>1</sub>	41 <sub>4</sub>	0,004
360		39 <sub>3</sub>	41 <sub>4</sub>	0,004
361		40 <sub>1</sub>	41 <sub>4</sub>	0,004

Таблица 20.

№№ эле- ментов	Время при- готовления	ЭДС при 20° в м. в. 1,01800 <sub>0</sub> +		H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> в мол.
		3 нед.	1 м.	
380	26 ноября 1928 г.	34 <sub>4</sub>	35 <sub>4</sub>	0,04
383		34 <sub>0</sub>	34 <sub>0</sub>	0,04
373		38 <sub>4</sub>	38 <sub>2</sub>	0,02
377		37 <sub>0</sub>	37 <sub>0</sub>	0,02
378		37 <sub>0</sub>	36 <sub>0</sub>	0,02
379		38 <sub>0</sub>	37 <sub>0</sub>	0,02

Таблица 21.

№№ эле- ментов	Время пригото- вления	ЭДС при 20° в межд. вольтах 1,01800 <sub>0</sub> +			H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> и мол.
		2 дня	2 нед.	1 м.	
386	28 ноября 1928 года	59 <sub>0</sub>	40 <sub>3</sub>	40	0,002
388		40 <sub>1</sub>	41 <sub>0</sub>		0,002
396		38 <sub>0</sub>	40 <sub>2</sub>	40 <sub>1</sub>	0,002
397		40 <sub>2</sub>	40 <sub>2</sub>	40 <sub>2</sub>	0,002
399		39 <sub>0</sub>	40 <sub>1</sub>	40 <sub>2</sub>	0,002
400		38 <sub>0</sub>	-	40 <sub>1</sub>	0,002
401		39 <sub>1</sub>	40 <sub>2</sub>	40 <sub>1</sub>	0,002
402		40 <sub>2</sub>	40 <sub>2</sub>	40 <sub>1</sub>	0,002
405		39 <sub>1</sub>	40 <sub>2</sub>	40 <sub>2</sub>	0,002

Элементы дали устойчивую электродвижущую силу на протяжении двух лет и 7 месяцев.

В октябре 1928 г. мы приготовили партию элементов от № 353 до № 361 с содержанием 0,04 мол. серной кислоты (таблица 19). В ноябре заряжена партия элементов от № 373 до № 379 с содержанием 0,02 мол. серной кислоты, два элемента № 380 и 383 с содержанием 0,04 мол. серной кислоты (таблица 20). 28 ноября была заряжена партия элементов от № 386 до 405 с содержанием 0,002 мол. серной кислоты (таблица 21). Почти все элементы вскоре после зарядки давали постоянную электродвижущую силу, например, средняя электродвижущая сила 11 нормальных элементов, заряженных 28 ноября 1928 г. через 2 дня по приготовлении была 1,01839<sub>6</sub> межд. вольта, а через 2 недели 1,01840<sub>4</sub> межд. вольта и через 1 месяц 1,01840<sub>2</sub> межд. вольта.

Ф. Е. Smith <sup>1)</sup> нашел зависимость между величиной электродвижущей силы и кислотностью и вывел следующую формулу:

$$\Delta E = - (600 \times 10^{-6} N + 50 \times 10^{-6} N^2).$$

Дальнейшие исследования, произведенные в National Physical Laboratory <sup>2)</sup>, привели к установлению новой формулы, идентичной формуле Ф. Е. Smith'a, но более простой:

$$\Delta E = - 615 \times 10^{-6} N.$$

Последняя формула верна для нормальных элементов, электролит которой содержит не более 0,4 NH<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Obata <sup>3)</sup> дал формулу:  $\Delta E = 1710 \Delta M$ , где  $\Delta E$  — разность электродвижущей силы, выраженной в микровольтах, а  $\Delta M$  — разность концентрации серной кислоты в электролите в молекулах на литр.

<sup>1)</sup> Dictionary of Applied Physics, vol II, p. 268.

<sup>2)</sup> The Position of the Electrical Units and Standards at the National Physical Laboratory and their relationship with those of other Laboratories.

<sup>3)</sup> Warren C. Vosburgh, Reproducibility of Weston Cells, J. Am. Chem. Soc. 47, 1255 (1925).

Необходимо отметить, что реактив Конго, предложенный Международной Конференцией по электрическим единицам и эталонам 1908 г., мало чувствителен к содержанию в электролите 0,02 мол. серной кислоты.

На основании предельного нами опыта мы приходим к следующему заключению.

1. Насыщенный раствор сернокадмиевой соли, употребляемый для зарядки нормальных элементов, должен анализироваться на содержание в нем свободной серной кислоты. Уточная спецификация, можно приготовить элементы, точность воспроизведения которых около 0,002%.

2. При измельчении кристаллов наблюдается повышение электродвижущей силы нормальных элементов Вестона, при чем в первое время по изготовлении элементов электродвижущая сила бывает особенно велика.

3. Нормальные элементы, зараженные  $Hg_2SO_4$ , полученной при сильном просасывании в тигле Гуча воздуха и отсутствии условий, благоприятствующих гидролизу  $Hg_2SO_4$ , дают электродвижущую силу выше обычной и довольно устойчивую на большом промежутке времени.

4. При наличии условий способствующих образованию гидролиза, уменьшение электродвижущей силы происходит быстрее, и элементы дают менее устойчивую электродвижущую силу.

#### Опыт сравнения нормальных элементов с эталонами электродвижущей силы иностранных метрологических лабораторий.

Результаты сравнения напечатаны в приложениях к отчету о 7-й Генеральной Конференции по мерам и весам<sup>1)</sup>. Здесь мы позволим себе привести таблицу 22 и рис. 27, из которых видны изменения электродвижущей силы нормальных элементов, подвергнутых сравнению в иностранных лабораториях.

Таблица 22.

№ элемент	Время приготовления	Электродвижущая сила при 20° в межд. вольтах 1,01800 <sub>0</sub> ±						Δ За 1 г. в микровольтах
		2 дня	Перед отправ.		По возвращении			
			Возраст	ЭДС	0 м.	5 м.	1 г.	
192	1926 г. ноябрь	37 <sub>9</sub>	10 мес.	39 <sub>3</sub>	40 <sub>7</sub>	39 <sub>1</sub>	36 <sub>3</sub>	- 30
218	1927 г. март	36 <sub>0</sub>	6 мес.	38 <sub>0</sub>	40 <sub>0</sub>	37 <sub>2</sub>	34 <sub>н</sub>	- 32
221	1927 г. март	37 <sub>7</sub>	6 мес.	38 <sub>0</sub>	40 <sub>2</sub>	39 <sub>1</sub>	35 <sub>8</sub>	- 22
200	1927 г. январь	32 <sub>3</sub>	3 мес.	37 <sub>1</sub>	40 <sub>1</sub>	39 <sub>5</sub>	37 <sub>н</sub>	+ 5
227	1927 г. март	36 <sub>2</sub>	1 мес.	38 <sub>7</sub>	39 <sub>7</sub>	38 <sub>8</sub>	37 <sub>2</sub>	- 15
Средний ЭДС		36 <sub>2</sub>	—	38 <sub>2</sub>	40 <sub>1</sub>	38 <sub>7</sub>	36 <sub>3</sub>	- 19

<sup>1)</sup> M. F. Malikov et A. C. Kolossov. Resultats des comparaisons d'éléments appartenant à divers laboratoires, faites par les soins de la Chambre Centrale des Poids et Mesures de l'U. R. S. S. Comptes Rendus des séances de la Septième Conférence Générale des Poids et Mesures réunie à Paris en 1927. p. 122.



В таблице 22 приведены электродвижущие силы элементов, изготовленных по нашей спецификации. Электродвижущая сила нормальных элементов после перевозки в Англию и Германию в среднем увеличилась на 19 микровольт, при чем интересно отметить, что элементы, отправленные за границу, принадлежали как к вновь приготовленным, имевшим возраст 1 месяц, так и к элементам, имевшим 10 месяцев со дня их приготовления, что, однако, не оказало влияния на их электродвижущую силу.

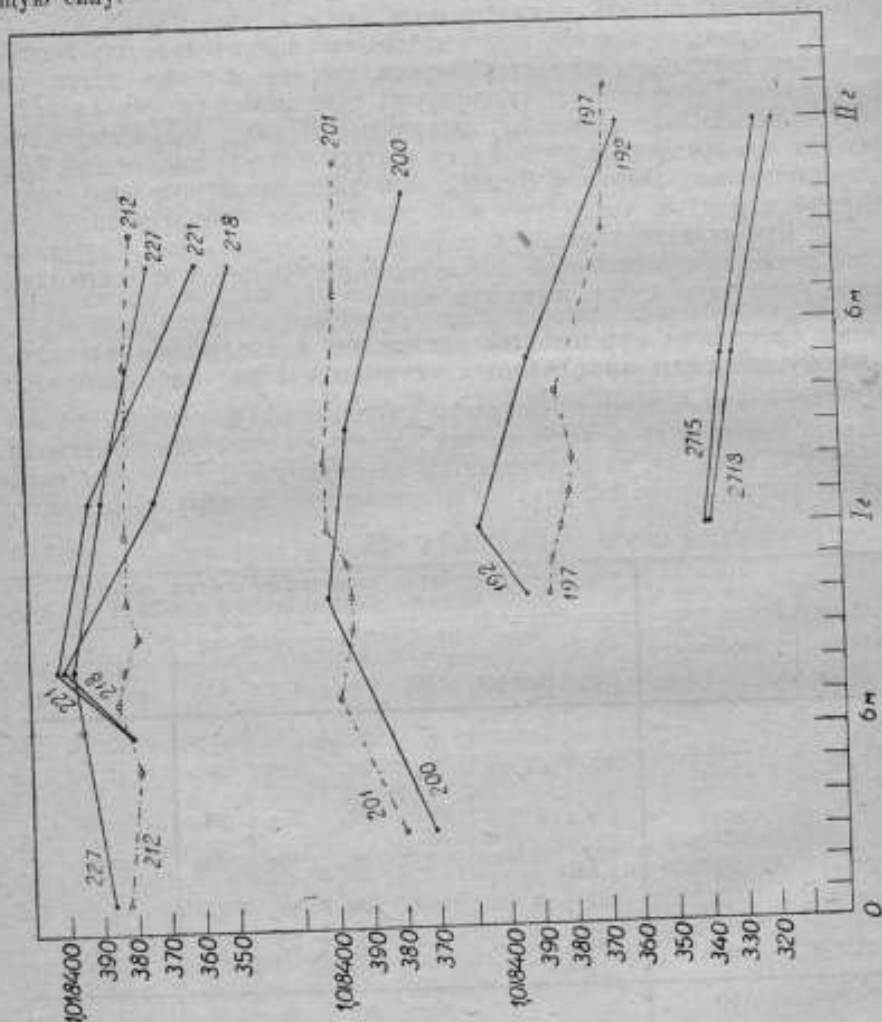


Рис. 27.

На рис. 27 изображен ход кривых электродвижущих сил нормальных элементов, подвергавшихся сравнению, и элементов, остававшихся их свидетелями в лаборатории, при чем кривые электродвижущих сил элементов, не подвергавшихся сравнению, вычерчены пунктиром.

Нормальный элемент № 227, отправленный за границу через 1 месяц по его приготовлении, показал после его возвращения в Главную Палату почти такое же повышение, как и элементы №№ 218 и 221, отправленные за границу через 6 месяцев по изготовлении. Элемент № 212, взятый из той же партии элементов, дал за это время почти горизонтальную кривую, и увеличение электродвижущей силы элементов может быть отнесено только за счет транспорта.

Элемент № 200 показал повышение электродвижущей силы после возвращения. В данном случае повышение может быть отнесено за счет естественного увеличения электродвижущей силы в первоначальный период жизни элементов, так как оставшийся элемент № 201 дал за это время некоторое повышение.

Элемент № 192 показал повышение электродвижущей силы по возвращении, в то время как элемент-свидетель № 197, находившийся в лаборатории, оставался без изменения.

Из приведенных кривых видно, что увеличение электродвижущей силы после перевозки сопровождается затем уменьшением ее и притом более значительным, чем у элементов, не подвергавшихся транспорту.

В таблице 23 приведены электродвижущие силы элементов, приготовленных в нашей лаборатории, за исключением  $Hg_2SO_4$ , полученной от фирмы Нэе, занимающейся специально изготовлением  $Hg_2SO_4$  для нормальных элементов.

Таблица 23.

№№ эле- ментов	Время приго- товления	Электродвижущая сила при 20° в межд. вольтах 1,01800 <sub>0</sub> +						Δ за 1 г. в микровольтах
		7 дней	Перед отправ.		По возвращении			
			Возраст	ЭДС	0 м.	5 м.	1 г.	
243	июнь 1927 г.	23 <sub>0</sub>	3 мес.	36 <sub>7</sub>	41 <sub>9</sub>	42 <sub>0</sub>	41 <sub>9</sub>	+ 52
249	"	21 <sub>8</sub>	3 мес.	37 <sub>4</sub>	41 <sub>2</sub>	43 <sub>0</sub>	41 <sub>3</sub>	+ 38

Элементы, заряженные  $Hg_2SO_4$  этой фирмы дают сначала низкую электродвижущую силу, затем сильно возрастающую.  $Hg_2SO_4$  этой фирмы доставляется в банках под насыщенным раствором  $CdSO_4$ , имеющим кислую реакцию на Конго.

Таблица 24.

№№ эле- ментов	Время приго- товления	Электродвижущая сила при 20° в межд. вольтах 1,01800 <sub>0</sub> +						Δ за 1 г. в микровольтах
		3 дня	Перед отправ.		По возвращению			
			Возраст	ЭДС	0 м.	5 м.	1 г.	
90	декабрь 1925 г.	44 <sub>9</sub>	1 г. 9 мес.	45 <sub>9</sub>	48 <sub>7</sub>	48 <sub>0</sub>	44 <sub>2</sub>	- 11
92	"	44 <sub>7</sub>	1 г. 9 мес.	42 <sub>7</sub>	45 <sub>1</sub>	41 <sub>3</sub>	42 <sub>0</sub>	- 2

В таблице 24 приведены электродвижущие силы нормальных элементов, приготовленных с измельченными кристаллами  $Hg_2SO_4$ , которые были в Америке<sup>1)</sup> и затем отправлены в Англию и Германию, при чем перед отправлением они имели возраст 1 г. 9 мес. В элементах № 90 и 92 произошло перемешивание компонентов в катодных коленах, что ясно было видно при наружном осмотре их. Электродвижущая сила после возвращения в Главную Палату сильно возрасла, но затем понизилась и в настоящее время почти равняется электродвижущей силе бывшей до отправления.

Таблица 25.

№№ элементов	Время приготовления	Электродвижущая сила при 20° в межд. вольтях 1,01800 <sub>0</sub> +			
		При приоб. в Англии	Через 5 м.	Через 1 г.	Δ за 1 год в микровольтях
2 715	1927 г.	34 <sub>0</sub>	33 <sub>4</sub>	32 <sub>2</sub>	- 18
2 718	1927 "	33 <sub>9</sub>	33 <sub>1</sub>	31 <sub>7</sub>	- 22

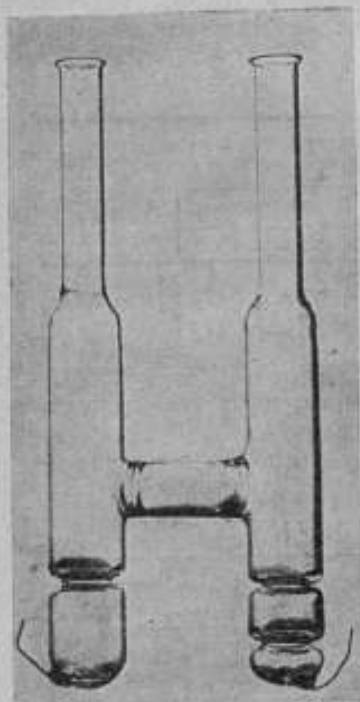


Рис. 28.

В таблице 25 и на рис. 27 приведены электродвижущие силы нормальных элементов, приготовленных в National Physical Laboratory с прибавлением свободной серной кислоты и любезно переданных Главной Палате мер и весов, взамен наших элементов, оставленных в National Physical Laboratory. Электродвижущая сила элементов №№ 2 715 и 2 718 изменилась за один год, в среднем, на 20 микровольт и равняется изменению наших элементов (таблица 22) за тот же период.

Опыт нашего первого сравнения показал, что при пересылке элементов ртуть в катодном колене смешивается с пастой и раствором  $CdSO_4$ , вследствие чего, как это показал G. A. Hulett в своих опытах вращения катодной системы, происходит временное увеличение электродвижущей силы, а затем ее падение.

Для того, чтобы уменьшить силу механического воздействия ртути, мы стали применять стеклянные оболочки для нормальных элементов, катодные колена которых имеют две крутых перетяжки, препятствующих свободному перемещению ртути (рис. 28).

<sup>1)</sup> М. Ф. Мадиков. Сравнение нормальных элементов Вестона в Главной Палате мер и весов и в Бюро Стандартов (Вашингтон). Поверочное Дело 1 (8), 39 (1927).

Опыт отправки в ноябре 1928 года двух нормальных элементов этого типа, взятых М. Ф. Маликовым в Париж для сравнения в Laboratoire Central d'Electricité и привезенных обратно в Главную Палату в декабре 1928 г., показал, что электродвижущая сила этих элементов не изменилась за время их перевозки.

В заключение я считаю необходимым отметить ценные указания М. Ф. Маликова за время работы и производство большого количества определений электродвижущей силы Е. С. Чураевой.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. S. Czapski. Über die thermische Veränderlichkeit der electromotorischen Kraft galvanischer Elemente und ihren Beziehung zur freien Energie derselben. Zeitschr. f. Physik. Chemie 21, 207 (1884).
2. W. Richards und G. W. Lewis. Einige electrochemische und thermochemische Verhältnisse des Zink- und Kadmiumamalgams. Zeitschr. f. Physik. Chemie 28, 1 (1899).
3. E. Cohen. Die Metastabilität des Weston-Kadmiumelements und dessen Unbrauchbarkeit als Normalelement. Zeitschr. f. Physik. Chemie 34, 621 (1900).
4. E. Cohen. Zur Thermodynamik der Normalelemente. Zeitschr. f. Physik. Chemie 34, 62 und 612 (1900).
5. W. Jaeger. Die Normalelemente und ihre Anwendung in der elektrischen Messtechnik. Halle, 1902.
6. H. C. Bijl. Die Natur der Kadmiumamalgame und ihr elektromotorisches Verhalten. Zeitschr. f. Physik. Chemie 41, 641 (1902).
7. G. A. Hulett. Quecksilbersulfat und die Normalelemente. Zeitschr. f. Physik. Chemie 49, 483 (1904).
8. G. A. Hulett and H. D. Minchin. The Distillation of Amalgams and the Purification of Mercury. Phys. Rev. 21, 388 (1905).
9. H. v. Steinwehr. Vorläufige Mitteilung über den Einfluss der Korngröße auf das elektromotorische Verhalten des Mercuriosulfats. Zeitschr. f. Instrumentenkunde 25, 205 (1905).
10. E. Cohen und Kruyt. Die elektromotorische Kraft des Kadmiumnormal elements bei Nullgrad. Zeitschr. f. Physik. Chemie 65, 359 (1909).
11. G. A. Hulett. Mercurous sulphate and the standard Cells. Phys. Rev. 22, 321 (1906).
12. F. A. Wolff and C. E. Waters. 1) Clark and Weston Standard Cells. Bull. of the Bureau of Standards 4, 1 (1907). 2) The Electrode equilibrium of the Standard Cell 4, 81 (1907).
13. F. A. Wolff and C. A. Waters. Preliminary Specifications for Clark and Weston Standard Cells. Bull. of the Bureau of Standards 3, 623 (1907).
14. G. A. Hulett. Mercurous sulphate, cadmium sulphate and the Cadmium Cell. Phys. Rev. 25, 16 (1907).
15. F. E. Smith. The Normal Weston Cadmium Cell. National Physical Laboratory Collected Researches 4, 89 (1908).
16. H. Carhart. The stability of Weston Cells. Phys. Rev. 26, 125 (1908).
17. P. Janet et R. Jonaus. Recherches sur les éléments étalons au cadmium. Travaux du Laboratoire Central d'Electricité 1, 5 (1908).
18. Carhart and H. Smith. A Comparison of the formulas of Helmholtz and Nernst for the E. M. F. of concentration Cells. Phys. Rev. 26, 25 (1908).
19. G. A. Hulett. Equilibrium in Standard Cells. Phys. Rev. 27, 343 (1908).
20. World. Reproducibility of Cadmium Cells. Phys. Rev. 27, 329 (1908).
21. 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, 1908.
22. F. A. Wolff. The Principles involved in the Selection and Definition of the Fundamental Electrical Units to be proposed for international Adoption. Bull. of the Bureau of Standards 5, 243 (1908).
23. I. Barnett. Some experiments on the Polarization and Recovery of Cadmium Cells. Phys. Rev. 18, 104 (1904).
24. F. E. Smith. On Cadmium amalgams and the Weston Normal Cell. National Physical Laboratory Collected Researches 6, 139 (1910).
25. G. A. Hulett. The Cathode Equilibrium in the Weston Standard Cell. Phys. Rev. 30, 648 (1910).
26. I. Smith. The limitations of the Weston Cell as a standard of Electromotive Force. Philosof. Mag. 20, 206 (1910).
27. G. A. Hulett. The Construction of Standard Cells and constant Temperature Bath. Phys. Rev. 32, 257 (1911).
28. H. v. Ginncken und H. R. Kruyt. Zur Theorie der Normalelemente. Zeitschr. f. Physik. Chemie 77, 744 (1911).
29. G. A. Hulett. Merkursulfat als Depolarisator in Normalelemente. Zeitschr. f. Physik. Chemie 77, 411 (1911).
30. H. v. Ginncken. Das Merkursulfat als Depolarisator in Weston-Clarkischen Normalelement. Zeitschr. f. Physik. Chemie 75, 687 (1911).
31. G. A. Hulett. The Distillation of Amalgams and the Purification of Mercury Construction of Standard Cells. Phys. Rev. 33, 307 (1911).
32. В. А. Кастиковский. Электрхимия. 1912 г.
33. 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.
34. Janet et R. Jouaust. L'élément étalon au cadmium. Travaux du Laboratoire Central d'Electricité 2, 174 (1912).
35. 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 2, 347 (1912).
36. Supplement to Report to the International Committee on Electrical Units and Standards of a Special Technical Committee. Washington, 1913.
37. H. v. Steinwehr. Über die theoretische Lösungswärme des Hydrats  $\text{CdSO}_4 \cdot \frac{8}{3} \text{H}_2\text{O}$  und die E. M. K. des Westonschen Normalelements. Zeitschr. f. Physik. Chemie 88, 229 (1914).
38. E. Cohen. und W. Helder mann. Physikalisch-chemische Studien an Cadmium. Zeitschr. f. Physik. Chemie 87, 409 (1914).
39. H. v. Steinwehr. Beitrag zur Berechnung theoretischer Lösungswärmen. Zeitschr. f. Physik. Chemie 94, 6 (1920).
40. E. Cohen und Th. Moesveld. Die Metastabilität des Internationalen Westonelements und dessen Unbrauchbarkeit als Spannungsnormale. Zeitschr. f. Physik. Chemie 95, 327 (1920).
41. W. Jaeger und H. v. Steinwehr. Electriche Leitfähigkeit verschiedener Mischungen von Quecksilberisotopen. Zeitschr. f. Physik 7, 111 (1921).
42. H. v. Steinwehr und A. Schulze. Nachprüfung der E. M. K. des internationalen Westonelements mit Hilfe des Silbervoltmeters. Zeitschr. f. Instrumentenkunde 42, 221 (1922).
43. F. Foerster. Die osmotische Theorie der galvanischen Stromzeugung von Nernst p. 150 (1922).
- \*44. A. Schulze. Über das Verhalten der Cadmiumamalgame in Beziehung zum Westonschen Normalelement. Zeitschr. f. Physik. Chemie 105, 177 (1923).
45. W. Jaeger und H. v. Steinwehr. Über die angebliche Unbrauchbarkeit des Westonschen Normalelements. Zeitschr. f. Physik. Chemie 97, 319 (1921) und 104, 403 (1923).
46. Warren C. Vosburgh and Marion Eppley. The Effect of various Preparation of Mercurous Sulfate on the E. M. F. and Hysteresis of Weston Standard Cells. J. Am. Chem. Soc. 46, 104 (1924).

47. Warren C. Vosburgh. Conditions affecting the reproducibility and constancy of Weston Standard Cells. *J. Am. Chem. Soc.* 47, 1255 (1925).
48. Piles primaire et accumulateurs. *Grandes Encyclopédies industrielles* L. B. Baillière. Paris, 1925.
49. М. Ф. Маликов. Эталон международного вольты. *Временник Главной Палаты Мер и весов* 1 (13), 130 (1925).
50. Marion Eppley. Standard electrical Cells. *J. of the Franklin Institute* 201, 17 (1926).
51. М. Ф. Маликов. Сравнение нормальных элементов Вестона в Главной Палате Мер и Весов и в Бюро Стандартов (Вашингтон). *Поверочное Дело* 1 (8), 39 (1927).
52. A. E. Salazar. *Los Majestras de Fuerza Electromotriz*. Santiago de Chile, 1928.
53. M. F. Malikov et A. C. Kolozov. Resultats des comparaisons d'éléments appartenant à divers laboratoires, faites par les soins de la Chambre Centrale des Poids et Mesures d'U. R. S. S. *Comptes Rendus des séances de la Septième Conférence Générale des Poids et Mesures réunie à Paris en 1927*. Paris, 1928.
54. Электрические и световые эталоны СССР. Главная Палата мер и весов № 60. Ленинград, 1928.

## ЭТАЛОННЫЕ ГРУППЫ НОРМАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВЕСТОНА.

Е. С. Чураева.

В статье М. Ф. Маликова «Эталон международного вольта» (Временник Главной Палаты. Вып. 1 (13) стр. 130, 1925 г.) сделано подробное обозрение состояния основной группы нормальных элементов Вестона, служащей эталоном международного вольта, за 15-летний период существования нормальных элементов, входящих в состав этой группы, т.-е. с 1910 по 1925 г.

Задача настоящей статьи состоит в продолжении обозрения состояния основной (первой) группы нормальных элементов с 1925 года по 1928 год и в ознакомлении с вновь установленной второй эталонной группой нормальных элементов Вестона, изготовленных в течение 1926—1927 года и с образуемой третьей эталонной группой, а также в сравнении всех трех эталонных групп между собою.

С 1922 года хранение величины международного вольта в Главной Палате мер и весов, как это указано в вышеназванной статье М. Ф. Маликова, производится при помощи группового эталона, состоящего из двадцати нормальных элементов Вестона за №№ 3, 4, 5, 7, 10, 14, 16, 18, 19, 20, 23, 24, 26, 28, 29, 30, 32, 33, 38 и 41, признанных в 1922 году годными для этой цели по своей хорошей сохранности и отобранных из числа элементов, приготовленных А. Б. Ферингер совместно с F. E. Smith'ом в Национальной Физической Лаборатории. В хорошем состоянии к означенному времени оказалось 20 элементов; средняя величина электродвижущих сил этих элементов, подсчитанная в 1922 году по данным 1910 года, полученным А. Б. Ферингер в результате ее работ с серебряным вольтметром, оказалась равной 1.01830 международного вольта при 20° С, т.-е. величине электродвижущей силы нормального элемента Вестона, установленной Вашингтонской Комиссией 1910 года; это значение группового эталона, согласно требованиям неизменности эталона, считается постоянным в течение всего времени службы группового эталона.

Все дальнейшие работы по хранению единицы электродвижущей силы заключаются в сличениях элементов группы с целью установления значений их электродвижущих сил при помощи рабочих эталонов, так называемых «элементов сравнения».

Означенные измерения производятся наиболее точным из всех известных до сих пор способов измерений электродвижущих сил нормальных элементов, именно компенсационным методом, сущность которого подробно изложена в указанной выше статье М. Ф. Маликова.

По данным этой статьи, электродвижущие силы элементов, входящих в состав первой эталонной группы, были в 1910 году весьма близки друг к другу по своему значению. В первый четырехлетний период существования элементов эта близость электродвижущих сил отдельных элементов сохранилась; в период времени 1920 — 1923 года, благодаря ненормальному режиму хранения нормальных элементов, в связи с пребыванием их в неотопляемом помещении, как и следовало ожидать, замечается некоторое изменение электродвижущих сил элементов; в 1923 — 1924 году, вследствие установления в конце 1922 года нормальных условий хранения элементов, эти изменения уменьшаются, но замечается довольно значительное падение электродвижущей силы двух элементов, начавшееся для одного из них еще в 1914 году (№ 5 на  $9 \times 10^{-5}$  вольта и № 7 на  $10^{-4}$  вольта), служивших до 1922 года в качестве единичных эталонов электродвижущей силы Главной Палаты мер и весов. В июле 1925 года уменьшение электродвижущей силы обнаруживают уже четыре элемента: № 3 на  $6 \times 10^{-5}$  вольта, № 30 на  $6 \times 10^{-5}$  вольта, № 5 на  $9 \times 10^{-5}$  вольта и № 7 на  $11 \times 10^{-5}$  вольта.

Для характеристики дальнейшего состояния электродвижущих сил элементов рассматриваемой группы приведена таблица I.

В первой графе этой таблицы помещены №№ элементов, во второй — время изготовления элементов, в третьей — внутреннее их сопротивление, в четвертой — значение электродвижущих сил, определенное в 1910 году, в пятой, шестой, седьмой и восьмой — значения электродвижущих сил элементов при  $20^{\circ}\text{C}$  в последние годы, начиная с 1925 года; в последних трех столбцах — помещено отклонение электродвижущей силы каждого элемента от среднего значения всей группы в 1910 и 1928 году и изменение электродвижущих сил элементов за 18-летний период их работы.

В этой таблице прежде всего обращает на себя внимание начавшееся в 1926 году уменьшение электродвижущей силы элемента № 19, продолжающееся и в последующие годы; таким образом, в августе 1928 года значение электродвижущей силы элемента № 19 достигает величины  $1,01813_5$  вольта, которое по сравнению с 1910 годом уменьшилось на  $15,5 \times 10^{-5}$  вольта.

Электродвижущая сила элемента № 3, после падения в 1925 году на  $6 \times 10^{-5}$  вольта, осталась на прежнем уровне, электродвижущая сила элемента № 30 упала после 1925 года еще на  $2 \times 10^{-5}$  вольта или всего с 1910 по 1928 год на  $8 \times 10^{-5}$  вольта; не столь значительное уменьшение электродвижущих сил в 1928 году по сравнению с 1910 годом обнаруживают элементы № 29 (на  $3 \times 10^{-5}$  вольта) и № 38 (на  $2,5 \times 10^{-5}$  вольта); за счет всех перечисленных элементов, уменьшивших с 1910 к августу 1928 года электродвижущие силы в среднем на  $7,3 \times 10^{-5}$  вольта, вследствие того, что среднее значение группы сохраняется постоянным, произошло кажущееся увеличение электродвижущих сил всех остальных элементов описываемой группы, в среднем для каждого элемента на  $3,9 \times 10^{-5}$  вольта, при чем даже элементы № 5



Таблица I.

№	Время при- товления за- ментов	Внутреннее сопротивле- ние элекро- тов в омах	Электродвижущая сила при 20°С					Отклонение Э.Д.С. каждого электрода от средн. знач. группы		Наимено- вание Э.Д.С. на 18 лет × 10 <sup>-5</sup> вольт
			1910 г. октябрь	1925 г. июль	1926 г. август	1927 г. август	1928 г. август	1910 г. × 10 <sup>-5</sup> вольт	1928 г.	
			А. В. Ферингер Е. С. Чураева Е. С. Чураева Е. С. Чураева							
3	1910 г.	549	1,01828	1,01822	1,01822 <sub>6</sub>	1,01828	1,01823	- 2	8	+
4	31/VIII	650	28	30	32	32	32	- 2	2	+
5	"	"	27	18	18 <sub>6</sub>	19	19	- 3	11	+
7	"	"	29	18	20	20	21	- 1	9	+
10	"	1 037	27	28	29	29	29	- 3	1	+
14	"	717	28	30	31	31	31	- 2	1	+
16	2/IX	691	30	34	34	34	34	0	4	+
18	"	986	29	31	32	31	33	- 1	3	+
19	"	1 073	29	29	24	18	13 <sub>6</sub>	- 1	16,5	+
20	"	1 073	30	32	33	33	33	0	3	+
23	"	885	29	31	32	32	33	- 1	3	+
24	"	890	30	33	33	33	34	0	4	+
26	"	773	29	28	31	32	33 <sub>6</sub>	- 1	3,5	+
28	7/IX	757	35	40	40	40	40	+ 5	10	+
29	"	783	35	36	32	33	32	+ 5	3	+
30	"	885	35	29	27	30	27	+ 5	3	+
32	"	859	27	33	31	31	31,5	- 3	1,5	+
33	"	1 200	29	34	34	34	35	- 1	5	+
38	"	752	36	32	32	32	33 <sub>6</sub>	+ 6	3,5	+
41	"	875	30	32	32	33	33	0	3	+
	среднее	858	1,01830	1,01830	1,01830	1,01830	1,01830	± 2,1	± 4,8	0

и № 7, обнаруживавшие, как это было уже указано выше, в 1925 году падение электродвижущих сил, в 1926, 1927 и 1928 году показывают некоторое повышение по сравнению со значением предыдущих лет.

Среднее отклонение электродвижущей силы каждого элемента от средней электродвижущей силы всей группы, как это видно из девятого и десятого столбцов таблицы, увеличилось с  $2,1 \times 10^{-5}$  вольта в 1910 году до  $4,8 \times 10^{-5}$  вольта в 1928 году, что, в свою очередь, также свидетельствует о падении электродвижущих сил некоторых элементов первой эталонной группы.

Среднее значение внутреннего сопротивления элементов группы составляет 858 омов.

В таблице II помещены данные сравнений элементов первой эталонной группы за год: с августа 1927 по август 1928 год.

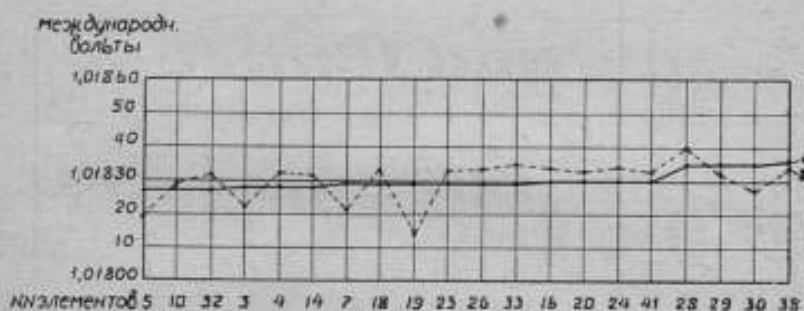


Рис. 1. Графики первой эталонной группы нормальных элементов Вестона: 1) по данным 1910 года и 2) по данным 1928 года.

В ней особенно наглядно можно проследить постепенное падение электродвижущей силы элемента № 19 и отчасти № 30 и кажущееся возрастание электродвижущих сил остальных элементов. В общем обе помещенные выше таблицы представляют собою картину старения нормальных элементов с течением времени.

То изменение, которое потерпела, благодаря продолжительной службе, а также и вследствие неблагоприятного режима в течение нескольких лет, первая эталонная группа нормальных элементов Главной Палаты мер и весов за 18 лет службы наглядно представлено рис. 1.

График 1 рис. 1 характеризует первую эталонную группу в 1910 году; в ней по линии абсцисс указаны №№ элементов, расположенных в зависимости от величины их электродвижущих сил таким образом, что первое место занимает элемент № 5, обладавший в 1910 году минимальной электродвижущей силой, а последним — элемент № 38 с наибольшей электродвижущей силой; по оси ординат отложены величины электродвижущих сил элементов по данным 1910 года. Значение группового эталона международного вольта, равное среднему значению электродвижущих сил составляющих группу элементов, характеризуется прямой параллельной оси абсцисс при ординате 1,01830 вольта.



График 2 того же рис. 1 дает характеристику той же первой эталонной группы в 1928 году при том же расположении элементов. Из сравнения графиков 1 и 2 явствует, что плавный ход графика электродвижущих сил элементов первой эталонной группы обратился через 18 лет, благодаря изменению электродвижущих сил элементов, в ломанную линию, при этом ясно видно, какие из элементов уменьшили свои электродвижущие силы, какие увеличили и насколько; наименьшее изменение электродвижущих сил в ту и другую сторону, обнаруживают элементы № 10 (на  $2 \times 10^{-5}$  вольта) и №№ 14, 20, 38 и 41 (по  $3 \times 10^{-5}$  вольта).

При новой сортировке порядка расположения элементов, т.-е. при размещении их по примеру графика 1, согласно постепенного перехода их электродвижущих сил от минимума к максимуму, получается график, изображенный на рис. 2.

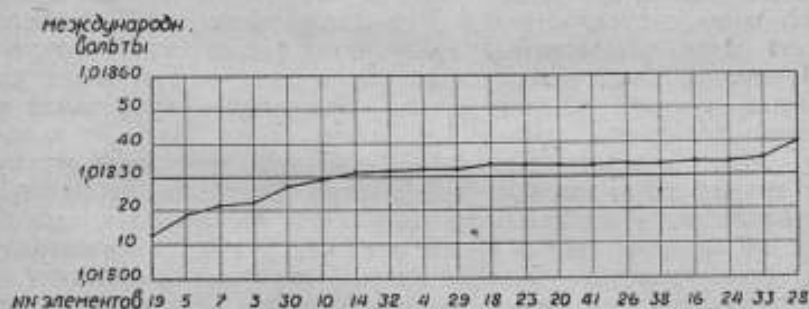


Рис. 2. График первой эталонной группы нормальных элементов Вестона в 1928 году при новом расположении элементов, входящих в состав группы.

Из сопоставления графиков рис. 1 и 2 видно, что разница между крайними значениями электродвижущих сил элементов группы в 1910 году (элементы № 5 и № 38) и 1928 году (элементы № 19 и № 28) возросла с  $9 \times 10^{-5}$  вольта до  $26,5 \times 10^{-5}$  вольта; аналогичная разница для 1925 года составляла  $22 \times 10^{-5}$  вольта.

Из предыдущего следует, что состояние рассматриваемого группового эталона ухудшилось не только по сравнению с 1910, но и по сравнению с 1925 годом; в будущем неизбежно его дальнейшее ухудшение.

Принимая во внимание необходимость поддержания неизменным международного вольта при помощи нормальных элементов Вестона, еще в конце 1922 года была возобновлена прерванная с 1914 года работа по изучению и приготовлению нормальных элементов Вестона, чем занялся А. К. Колосов. Первые элементы были приготовлены А. К. Колосовым в марте 1925 года. В течение последующего времени им было приготовлено, с целью изучения, большое количество элементов, в результате чего в 1927 году явилась возможность образовать вторую эталонную группу нормальных элементов, подготавливаемую для замены стареющей первой группы; эта группа была составлена также из 20 элементов.



Количество 20 элементов взято в этом случае, во-первых, по аналогии с первой группой, а во-вторых, на основании практических соображений, так как с группой подобного размера удобно произвести сравнения элементов в течение одного рабочего дня. Эту группу решено хранить таким же образом, как и первую, т.-е. в ванне, наполненной трансформаторным маслом высшего качества.

С целью осуществления способа хранения эталонных элементов в более постоянных температурных и прочих условиях, обе эталонные группы нормальных элементов предположено перенести в одну из кладовых эталонной электрической лаборатории.

Для элементов нами сконструирована специальная медная никелированная ванна (рис. 3) длиной в 620 мм, шириной со стеклом. 40 элементов, помещающиеся в эту ванну, насаживаются в два ряда, по 20 элементов в ряд, на предназначенные для этой цели эбонитовые подставки, лежащие на медных уголках, припаянных к противоположным стенкам ванны; положительные полюса элементов с помощью зажимов присоединяются к медной шине, расположенной между двумя рядами элементов внутри ванны; отрицательные полюса подводятся к зажимам, служащим для соединения их с выступающими наружу стерженьками, укрепленными на эбонитовых пластинах, вделанных в боковые стенки ванны; от медной шины — общего положительного полюса элементов пропущены наружу, сквозь крышку ванны такие же два стержня. Включение находящихся в ванне элементов в измерительную цепь может производиться, следовательно, при закрытой крышке посредством двойного шнура с припаянными к нему двумя втулочками, одна из которых насаживается с трением на стержень положительной шины, а другая — поочередно на каждый из стержней отрицательных полюсов элементов; вторые концы этого шнура присоединяются к компенсационному прибору. Температура ванны отчитывается по двум термометрам, расположенным в диаметрально противоположных углах ванны. Для поглощения влаги, могущей с течением времени проникнуть внутрь ванны, к стенкам последней прикреплены две ванночки для хлористого кальция. Применение ванны с плотно закрывающейся крышкой не только дает возможность более рационального способа хранения нормальных элементов, но и улучшает условия их сравнений. Для уменьшения теплопроводности ванна помещена в дубовый футляр со съёмной крышкой.

Вторая эталонная группа составлена из элементов, приготовленных А. К. Колосовым в 1926 и 1927 годах, а именно: в первую подгруппу вошли 4 элемента, заряженные 30 апреля 1926 года, №№ 151, 152, 154 и 156; во вторую подгруппу — 3 элемента, заряженные 13 ноября 1926 года, №№ 195, 197 и 198; в третью подгруппу — 8 элементов, заряженных 14 января 1927 г., №№ 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207 и 208; в четвертую подгруппу — 4 элемента, заряженные 5 марта 1927 года, №№ 212, 223, 224 и 225 и кроме того один элемент, заряженный 16 июня 1927 года, № 242.

Все перечисленные элементы были включены в группу на основании продолжительных и необратимых сравнений их с первой эталонной группой и по установлению устойчивости их электродвижущих сил.

Результаты сравнений элементов второй эталонной группы, произведенных как до образования группы (период времени с января 1927 г. по август 1927 г.), так и после ее установления (с августа месяца 1927 года по август 1928 года), выраженные в среднем значении

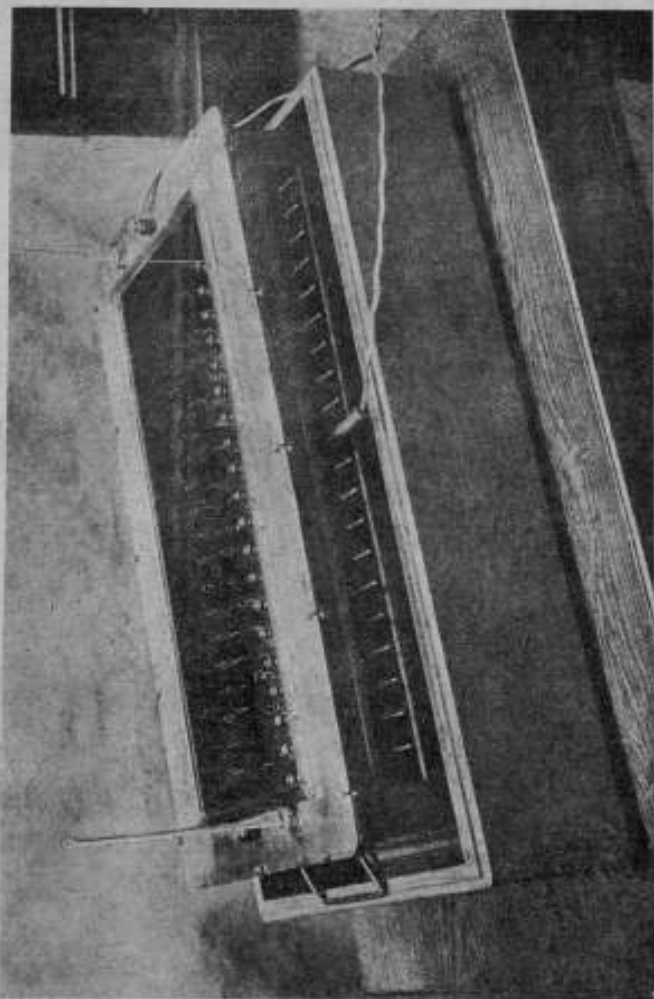


Рис. 3. Ящик для эталонных групп нормальных элементов. Восток со снежной крышкой.

основной эталонной группы, приведены в таблице III <sup>1)</sup>, составленной аналогично таблицам I и II.

<sup>1)</sup> Данные, помещенные в этой таблице, приведены частично в статье М. Ф. Малюкова и А. К. Колосова „Эталоны Электрических единиц СССР“. (Издание Главной Палаты мер и весов № 60, 1928 г.—„Электрические и световые эталоны СССР“, таблица V, стр. 74—75).

Таб

№№ элементов	Время приготовления	Внутреннее сопротивление в омах	Электродвижка								
			1926 г. 31 декабря	1927 г. 30 января	1927 г. 27 января	1927 г. 10 февраля	1927 г. 3 марта	1927 г. апрель	1927 г. август	1927 г. октябрь	1927 г. ноябрь
151	30. IV	546	1,01837 <sub>0</sub>	—	1,01836 <sub>6</sub>	—	1,01836 <sub>6</sub>	1,01836 <sub>6</sub>	1,01836 <sub>6</sub>	1,01835 <sub>6</sub>	1,01835 <sub>6</sub>
152	"	522	—	—	—	—	—	—	—	—	—
154	"	1337	—	—	—	—	—	—	—	—	—
156	"	614	—	—	—	—	—	—	—	—	—
195	18. XI	504	—	—	39 <sub>3</sub>	—	—	—	—	37 <sub>3</sub>	35 <sub>3</sub>
197	"	561	—	—	39 <sub>3</sub>	—	—	—	—	38 <sub>3</sub>	36 <sub>3</sub>
199	"	439	—	—	39 <sub>3</sub>	—	—	—	—	38 <sub>3</sub>	36 <sub>3</sub>
201	14. I	1195	—	1,01834 <sub>7</sub>	—	1,01830 <sub>3</sub>	—	—	—	39 <sub>3</sub>	39 <sub>3</sub>
202	"	560	—	—	—	—	—	—	—	39 <sub>3</sub>	39 <sub>3</sub>
203	"	494	—	—	—	—	—	—	—	39 <sub>3</sub>	39 <sub>3</sub>
204	"	501	—	—	—	—	—	—	—	39 <sub>3</sub>	39 <sub>3</sub>
205	"	725	—	—	—	—	—	—	—	39 <sub>3</sub>	39 <sub>3</sub>
206	"	477	—	—	—	—	—	—	—	39 <sub>3</sub>	39 <sub>3</sub>
207	"	905	—	—	—	—	—	—	—	39 <sub>3</sub>	39 <sub>3</sub>
208	"	541	—	—	—	—	—	—	—	39 <sub>3</sub>	39 <sub>3</sub>
212	5. III	551	—	—	—	—	—	—	—	37 <sub>3</sub>	38 <sub>3</sub>
223	"	908	—	—	—	—	—	—	—	37 <sub>3</sub>	37 <sub>3</sub>
224	"	751	—	—	—	—	—	—	—	37 <sub>3</sub>	37 <sub>3</sub>
225	"	858	—	—	—	—	—	—	—	37 <sub>3</sub>	37 <sub>3</sub>
242	16. VI	1483	—	—	—	—	—	—	—	36 <sub>3</sub>	36 <sub>3</sub>
294	9. IV	611	—	—	—	—	—	—	—	—	—
295	"	580	—	—	—	—	—	—	—	—	—
297	"	477	—	—	—	—	—	—	—	—	—
298	"	617	—	—	—	—	—	—	—	—	—
среднее		701	—	—	—	—	—	—	1,01835 <sub>9</sub>	1,01835 <sub>8</sub>	1,01835 <sub>8</sub>

Из таблицы III видно, что электродвижущие силы элементов, связанных единством времени и способа их приготовления, показывают весьма близкие друг к другу электродвижущие силы; далее замечаем, что три элемента группы—№№ 151, 195 и 225—за промежуток времени с августа 1927 по апрель 1928 года обнаруживают тенденцию к уменьшению своих электродвижущих сил и, действительно, из сравнения столбцов 10 и 18 видно, что в рассматриваемый восьмимесячный период эти 3 элемента упали в среднем на  $1,7 \times 10^{-5}$  вольта, что сейчас же отражается на среднем значении отклонений электродвижущих сил каждого элемента от

Л и ц а III

Наблюдатель Е. С. Чураева.

Д а в с и з а н и и 20° С									Отклонение Э. Д. С. каждого элемента от среднего значения группы $\times 10^{-5}$ вольт		
1927 г. апрель	1928 г. апрель	1928 г. март	1928 г. 13 апреля	1928 г. 23 апреля	1928 г. апрель	1928 г. июнь	1928 г. июль	1928 г. август	1927 г. август	1928 г. апрель	1928 г. август
1,01835 <sub>6</sub>	1,01835 <sub>6</sub>	1,01834 <sub>6</sub>	—	—	1,01835 <sub>6</sub>	—	—	1,01836 <sub>6</sub>	— 20	— 31	—
36 <sub>6</sub>	36 <sub>6</sub>	35 <sub>6</sub>	—	—	36 <sub>6</sub>	—	—	36 <sub>6</sub>	— 22	— 16	—
35 <sub>6</sub>	35 <sub>6</sub>	35 <sub>6</sub>	—	—	35 <sub>6</sub>	—	—	35 <sub>6</sub>	— 25	— 23	— 25
36 <sub>6</sub>	36 <sub>6</sub>	36 <sub>6</sub>	—	—	37 <sub>6</sub>	—	—	36 <sub>6</sub>	— 19	— 11	— 28
38 <sub>3</sub>	37 <sub>3</sub>	37 <sub>3</sub>	—	—	37 <sub>3</sub>	—	—	—	+ 6	+ 7	—
38 <sub>3</sub>	37 <sub>3</sub>	38 <sub>3</sub>	—	—	38 <sub>3</sub>	—	—	—	+ 5	+ 2	— 16
38 <sub>3</sub>	38 <sub>3</sub>	39 <sub>3</sub>	—	—	37 <sub>3</sub>	—	—	37 <sub>3</sub>	+ 8	+ 3	— 15
39 <sub>3</sub>	40 <sub>3</sub>	40 <sub>3</sub>	—	—	40 <sub>3</sub>	—	—	39 <sub>3</sub>	+ 15	+ 27	+ 10
40 <sub>3</sub>	40 <sub>3</sub>	40 <sub>3</sub>	—	—	40 <sub>3</sub>	—	—	39 <sub>3</sub>	+ 14	+ 27	+ 10
39 <sub>3</sub>	40 <sub>3</sub>	40 <sub>3</sub>	—	—	39 <sub>3</sub>	—	—	39 <sub>3</sub>	+ 21	+ 17	+ 11
39 <sub>3</sub>	39 <sub>3</sub>	39 <sub>3</sub>	—	—	39 <sub>3</sub>	—	—	39 <sub>3</sub>	+ 15	+ 12	+ 7
39 <sub>3</sub>	39 <sub>3</sub>	39 <sub>3</sub>	—	—	39 <sub>3</sub>	—	—	39 <sub>3</sub>	+ 15	+ 15	+ 10
39 <sub>3</sub>	39 <sub>3</sub>	39 <sub>3</sub>	—	—	39 <sub>3</sub>	—	—	39 <sub>3</sub>	+ 16	+ 14	+ 8
39 <sub>3</sub>	39 <sub>3</sub>	39 <sub>3</sub>	—	—	39 <sub>3</sub>	—	—	39 <sub>3</sub>	+ 15	+ 16	+ 11
39 <sub>3</sub>	39 <sub>3</sub>	39 <sub>3</sub>	—	—	39 <sub>3</sub>	—	—	39 <sub>3</sub>	+ 13	+ 13	+ 8
37 <sub>3</sub>	38 <sub>3</sub>	38 <sub>3</sub>	—	—	37 <sub>3</sub>	—	—	38 <sub>3</sub>	— 5	— 5	— 6
37 <sub>3</sub>	37 <sub>3</sub>	37 <sub>3</sub>	—	—	37 <sub>3</sub>	—	—	38 <sub>3</sub>	— 6	— 7	— 5
37 <sub>3</sub>	37 <sub>3</sub>	37 <sub>3</sub>	—	—	37 <sub>3</sub>	—	—	37 <sub>3</sub>	— 5	— 6	— 8
36 <sub>3</sub>	36 <sub>3</sub>	35 <sub>3</sub>	—	—	35 <sub>3</sub>	—	—	37 <sub>3</sub>	— 4	— 28	—
36 <sub>3</sub>	36 <sub>3</sub>	36 <sub>3</sub>	—	—	36 <sub>3</sub>	—	—	37 <sub>3</sub>	— 26	— 14	— 14
—	—	—	1,01839 <sub>3</sub>	1,01840 <sub>3</sub>	—	—	—	40 <sub>3</sub>	—	—	+ 16
—	—	—	39 <sub>3</sub>	40 <sub>3</sub>	—	—	—	40 <sub>3</sub>	—	—	+ 16
—	—	—	40 <sub>3</sub>	40 <sub>3</sub>	—	—	—	40 <sub>3</sub>	—	—	+ 14
—	—	—	41 <sub>3</sub>	39 <sub>3</sub>	—	—	—	39 <sub>3</sub>	—	—	+ 7
1,01838 <sub>6</sub>	1,01838 <sub>6</sub>	1,01837 <sub>6</sub>	—	—	1,01838 <sub>6</sub>	1,01838 <sub>6</sub>	1,01838 <sub>6</sub>	1,01838 <sub>6</sub>	+ 13,9	+ 14,8	+ 12,3

среднего значения группы, именно: с августа 1927 г. по апрель 1928 г. это значение возросло с 13,9 до 14,8 микровольт. Несмотря на то, что эти различия являются сами по себе весьма незначительными, все же следует стремиться к тому, чтобы они не превышали 10 - 15 микровольт, так как практика последних лет показала, что точность изготовления нормальных элементов Вестона достигает этой величины.

На основании этих соображений, для поддержания неизменности второй эталонной группы нормальных элементов применяется способ замены новыми элементами тех элементов, которые обнаруживают склонность

к уменьшению своих электродвижущих сил. С этой целью в июне 1928 года элементы №№ 151, 195 и 225, а также и элемент № 154, который хотя и не показывал падения электродвижущей силы, все же давал некоторые колебания, заменены приготовленными в апреле 1928 года элементами №№ 294, 295, 297 и 298. Благодаря такой замене разница между наименьшей электродвижущей силой и наибольшей в группе понизилась с 58 микровольт в апреле до 44 микровольт в июне; значение последних двух столбцов таблицы также снижено с 14,8 до 12,3 микровольт.

Представленные на рис. 4 кривые электродвижущих сил элементов второй эталонной группы, построенные по данным таблицы III, дают совершенно ясное представление как о величинах электродвижущих сил каждого из элементов группы в отдельности в определенный момент рассматриваемого промежутка времени, так и о характере колебаний электродвижущих сил этих элементов.

Части кривых, относящиеся ко времени предварительных сличений элементов до образования второй группы, у элементов свежес изготовленных, в некоторых случаях дают довольно значительные колебания электродвижущих сил, что указывает на неустановившееся еще их значение; характерны при этом и здесь те два явления, которые часто приходится наблюдать у вновь изготовленных элементов: либо возрастание электродвижущих сил элементов по сравнению с первоначальными результатами измерений, либо, наоборот, понижение, что может быть объяснено, главным образом, различными способами приготовления сернокислой закиси ртути. Примером первого из названных явлений могут служить элементы №№ 201, 207, 202, 223, 224 и 225 и второго—элементы №№ 298 и 297. Что же касается колебаний электродвижущих сил элементов после августа 1927 года, то они в большинстве случаев соответствуют точности производимых измерений (2—3 микровольта), не выходит за пределы точности изготовления нормальных элементов, достигаемой при современных методах работы (10—15 микровольт) и значительно ниже предела достоверности, с какой известна величина нормального элемента Вестона ( $0,01\%$ ).

На графике совершенно ясно обозначаются, далее, три отдельные группировки кривых, которые особенно заметно сближаются в последний из приведенных моментов графика (август 1928 года), при чем интересно отметить, что каждая из этих группировок составлена из элементов отдельных подгрупп, а именно: первая, занимающая наивысшее положение на рассматриваемом графике, состоит из элементов третьей и пятой подгруппы, вторая—из элементов второй и четвертой подгруппы и элемента № 242 и третья—из двух элементов первой подгруппы.

Улучшившееся состояние всей группы от замены в июне 1928 г. элементов №№ 151, 154, 195 и 225, понизивших, как это было уже указано выше, свои электродвижущие силы, элементами №№ 294, 295, 297 и 298, совершенно естественно нашло свое подтверждение и в данном графике, обнаружив большее сближение линий каждой подгруппы в период времени июнь—август 1928 года.

Для определения внутреннего сопротивления элементов второй группы были изучены три способа подобных определений и после ряда опытов было измерено внутреннее сопротивление этих элементов по методу Н е р н с т а



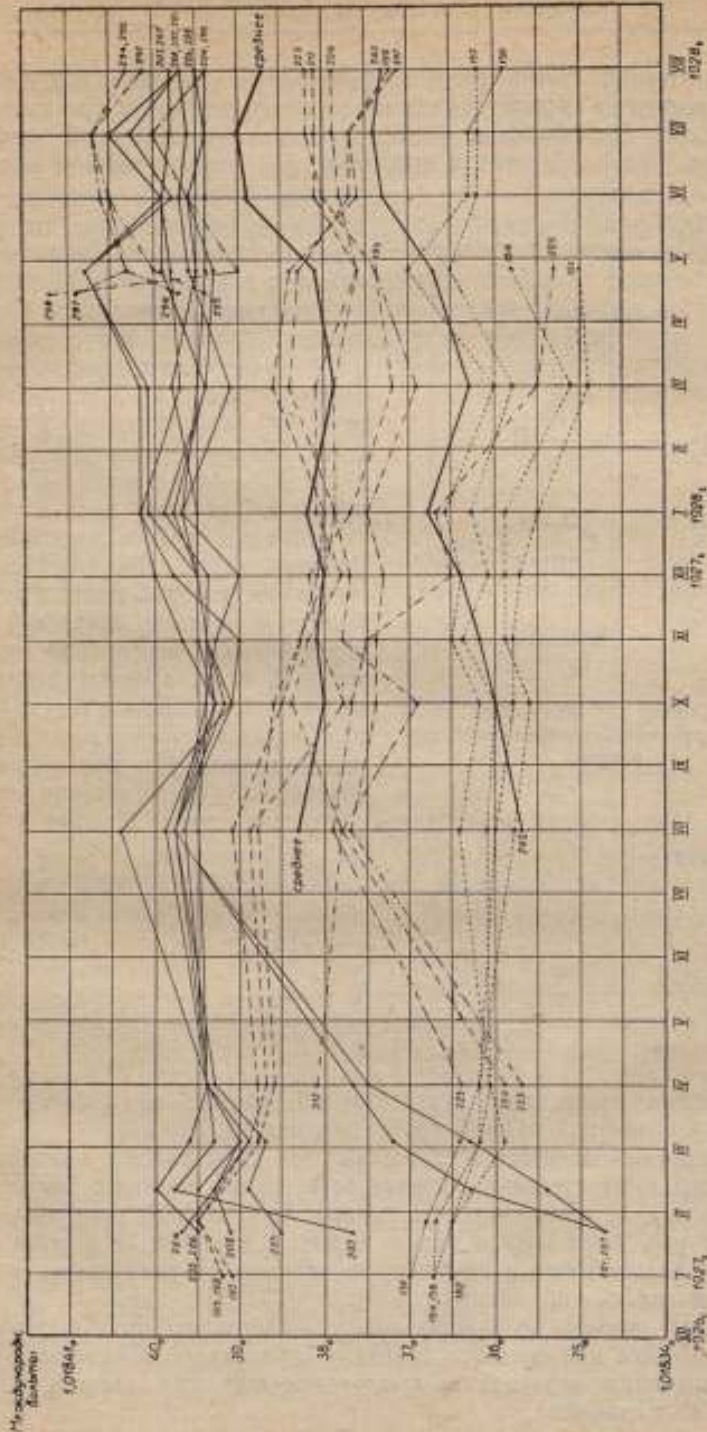


Рис. 4. Кривые электродающих сил элементов второй стадии группы нормализованных элементов Восточа.

(с конденсаторами); такой способ, благодаря необходимости ограждения нормальных элементов от разряда сильным током, является наиболее надежным.

На рис. 5 изображена схема, примененная эталонной электрической лабораторией при этих испытаниях.  $E_N$  — испытуемый нормальный элемент,  $R_1$  и  $R_2$  — известные регулируемые сопротивления, в данном случае сопротивление калиброванного магазина фирмы O. Wolff,  $C_1$  и  $C_2$  — конденсаторы емкостью по 1 микрофараде,  $C$  — конденсатор емкостью в 0,1 микрофарады,  $Ind$  — индукционная катушка,  $K_1$  и  $K_2$  — выключатели,  $B$  — аккумулятор и  $T$  — телефон.

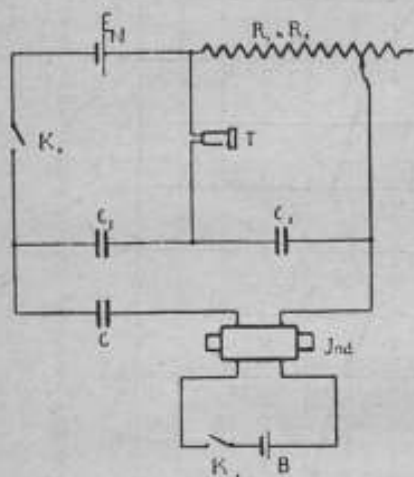


Рис. 5. Схема для измерения внутреннего сопротивления нормальных элементов.

При замыкании выключателей  $K_1$  и  $K_2$  сопротивление  $R$  регулируется до тех пор, пока в телефоне не получится полное отсутствие или минимум звука. Во избежание погрешности, которая может быть внесена в результаты измерений даже при небольшом неравенстве конденсаторов  $C_1$  и  $C_2$ , с целью исключения их влияния, такое же регулирование производится вторично после перемены мест конденсаторов. При обозначении внутреннего сопротивления элемента

при первой регулировке сопротивления магазина через  $r'_N$  и при второй —  $r''_N$  получим:

$$r'_N : R_1 = C_1 : C_2,$$

$$r''_N : R_2 = C_2 : C_1.$$

Отсюда:

$$r_N^2 = R_1 \times R_2$$

и

$$r_N = \sqrt{R_1 \times R_2}.$$

Значения измеренных сопротивлений, среднее из которых равно 701 ому, помещены в третьей графе таблицы III.

Близкая ориентировка электродвижущей силы каждого элемента второй группы возле среднего значения всей группы наглядно представлена графиком рис. 6, построенным по данным августа 1928 года аналогично графикам рис. 1 (силовная линия) и рис. 2, при чем и в этом случае элементы расположены в постепенном переходе от наименьших электродвижущих сил к наибольшим.

График весьма незначительно отклоняется от прямой параллельной оси абсцисс при ординате 1,01838, (пунктир) и показывает разницу между крайними значениями электродвижущих сил элементов группы порядка 45 микровольт.

Для установления соотношений между первой и второй эталонными группами было произведено сличение элементов этих групп через посредство одного и того же элемента сравнения. Это сличение делалось таким образом, что сравнение элементов первой группы производилось два раза через промежуток времени в один день, в который производилось сравнение элементов второй группы; для установления значения электродвижущей силы элемента сравнения в первой группе, так же как и для каждого элемента первой группы, брались средние величины первого и третьего измерений. Эти сравнения показали, что вторая эталонная группа в окончательном своем составе, т. е. в течение времени июнь—август 1928 года имела среднюю величину, равную 1,01838<sub>0</sub> международного вольта, т. е. на 89 микровольт больше среднего значения первой эталонной группы.

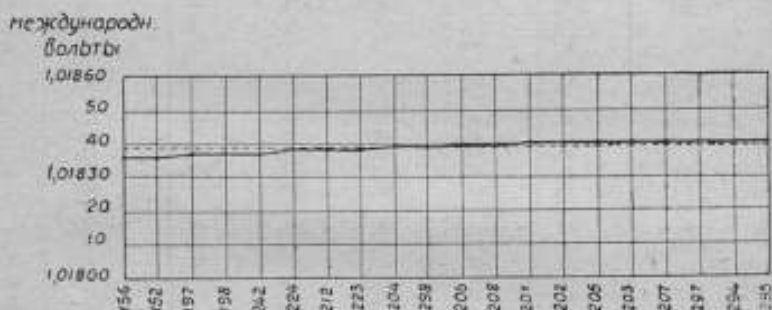


Рис. 6. График второй эталонной группы нормальных элементов Вестона, построенный по данным августа месяца 1928 года.

В связи с стоящими перед ней задачами по установлению и хранению международного вольта, эталонная электрическая лаборатория имеет в виду составление еще нескольких эталонных групп нормальных элементов Вестона.

В апреле 1928 г. А. К. Колосовым составлена третья группа нормальных элементов Вестона, в количестве 15 элементов, приготовленных в течение одного месяца, именно: первая подгруппа, состоящая из 4-х элементов №№ 285, 286, 287 и 288, приготовлена 29-го марта 1928 г., вторая — один элемент № 290, приготовленный 3 апреля 1928 г., третья — 5 элементов №№ 301, 302, 303, 304 и 306 — приготовлена 6 апреля 1928 г. и, наконец, четвертая подгруппа — 5 элементов №№ 310, 311, 314, 315 и 316 — приготовлена 18 апреля 1928 г.

Результаты предварительных сличений этой группы с первой эталонной группой, обнимающих собою промежуток времени с конца апреля по август 1928 г., помещены в таблице IV.

В таблице IV обращает на себя внимание близость электродвижущих сил элементов группы, приготовленных даже не в одно время, но лишь одним способом. Благодаря этой близости среднее отклонение электродвижущих сил элементов за 5 месяцев от среднего значения группы, помещенное в последнем столбце таблицы, составляет всего  $\pm 2,8$  микровольт.

Таблица IV.

Наблюд. Е. С. Чураева.

№№ элементов	Время приготовления	Электродвижущая сила при 20° С					Среднее Э. Д. С. из трехлучной группы апрель—август	Отклонение средней Э. Д. С. каждого элемента от среднего значения группы $\times 10^{-6}$ вольт
		1928 г. 29 апреля	1928 г. май	1928 г. июнь	1928 г. июль	1928 г. август		
	1928 г.							
285	29 марта	1,01841 <sub>8</sub>	1,01842 <sub>7</sub>	1,01842 <sub>7</sub>	1,01843 <sub>6</sub>	1,01842 <sub>7</sub>	1,01842 <sub>8</sub>	+ 5
288	То же	41 <sub>7</sub>	42 <sub>7</sub>	42 <sub>7</sub>	43 <sub>6</sub>	42 <sub>7</sub>	42 <sub>8</sub>	+ 5
287	"	41 <sub>8</sub>	42 <sub>8</sub>	42 <sub>8</sub>	43 <sub>7</sub>	42 <sub>8</sub>	42 <sub>7</sub>	+ 4
288	"	41 <sub>7</sub>	41 <sub>8</sub>	43 <sub>8</sub>	43 <sub>8</sub>	42 <sub>7</sub>	42 <sub>8</sub>	+ 4
290	3 апреля	41 <sub>7</sub>	39 <sub>7</sub>	40 <sub>7</sub>	40 <sub>8</sub>	40 <sub>7</sub>	40 <sub>8</sub>	- 10
301	6 апреля	42 <sub>7</sub>	41 <sub>7</sub>	42 <sub>7</sub>	43 <sub>7</sub>	42 <sub>7</sub>	42 <sub>8</sub>	+ 1
302	То же	41 <sub>7</sub>	41 <sub>7</sub>	42 <sub>7</sub>	43 <sub>7</sub>	42 <sub>7</sub>	42 <sub>8</sub>	+ 1
303	"	40 <sub>8</sub>	41 <sub>7</sub>	42 <sub>7</sub>	43 <sub>7</sub>	42 <sub>7</sub>	41 <sub>8</sub>	- 2
304	"	41 <sub>8</sub>	41 <sub>7</sub>	42 <sub>7</sub>	43 <sub>7</sub>	42 <sub>7</sub>	42 <sub>8</sub>	+ 1
306	"	41 <sub>8</sub>	41 <sub>8</sub>	42 <sub>7</sub>	43 <sub>7</sub>	42 <sub>7</sub>	42 <sub>7</sub>	0
310	18 апреля	41 <sub>7</sub>	40 <sub>7</sub>	42 <sub>7</sub>	42 <sub>7</sub>	42 <sub>7</sub>	41 <sub>8</sub>	- 2
311	То же	41 <sub>7</sub>	41 <sub>7</sub>	42 <sub>7</sub>	43 <sub>7</sub>	42 <sub>7</sub>	42 <sub>8</sub>	0
314	"	41 <sub>7</sub>	41 <sub>7</sub>	42 <sub>7</sub>	43 <sub>7</sub>	42 <sub>7</sub>	42 <sub>8</sub>	0
315	"	41 <sub>8</sub>	41 <sub>7</sub>	42 <sub>7</sub>	43 <sub>7</sub>	42 <sub>7</sub>	42 <sub>8</sub>	0
316	"	41 <sub>8</sub>	41 <sub>8</sub>	42 <sub>7</sub>	42 <sub>7</sub>	42 <sub>7</sub>	42 <sub>8</sub>	- 1
	среднее	1,01841 <sub>8</sub>	1,01841 <sub>7</sub>	1,01842 <sub>7</sub>	1,01843 <sub>6</sub>	1,01842 <sub>7</sub>	1,01842 <sub>8</sub>	+ 2,8

Разница между первой и третьей эталонными группами получится, очевидно, из сравнения между собою средних значений электродвижущих сил элементов рассматриваемых двух групп, что составит 121 микровольт; полученная таким же способом разница между второй и третьей группами составит 32 микровольт.

В ближайшем будущем эталонная электрическая лаборатория предполагает составить еще одну группу нормальных элементов, при чем, в отличие от предыдущих, предусматривается хранить входящие в нее элементы в воздушной герметически закрытой ванне.

Практика покажет, какие из способов комплектования, хранения и поддержания группового эталона международного вольта можно будет считать наилучшими и ввести в спецификацию нормальных элементов Вестона.

Заведующему лабораторией М. Ф. Маликову и А. К. Колосову выражаю глубокую признательность за ценные указания во время работы.



МЕЖДУНАРОДНЫЕ СРАВНЕНИЯ НОРМАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ  
В 1926 И 1927 Г.Г.

М. Ф. Маликов и А. К. Колосов.

Международные сравнения нормальных элементов представляют большой интерес: во-первых, они позволяют непосредственно установить действительное соотношение между значениями единицы электродвижущей силы (международного вольта), воспроизводимой эталонами различных национальных метрологических лабораторий, а во-вторых, они позволяют судить о способности нормальных элементов перевозить перевозку на большие расстояния.

Подобного рода сравнения осуществлены Главной Палатой мер и весов в 1926—27 г.г. при помощи нормальных элементов Вестона, приготовленных в ее эталонной электрической лаборатории, которые были доставлены в Bureau of Standards в Вашингтоне, Laboratoire Central d'Electricité в Париже, Physikalisch-Technische Reichsanstalt в Берлине и в National Physical Laboratory в Теддингтоне. В виду чувствительности нормальных элементов к условиям перевозки, доставка нормальных элементов в указанные выше лаборатории и обратно в Главную Палату была осуществлена почти исключительно на руках: нормальные элементы передавались лицам, отправляющимся за границу, которые и брали на себя заботу бережного обращения с ними в пути; естественно, поэтому, что работа заняла более одного года времени.

Нормальные элементы были отправлены за границу в три приема.

20 марта 1926 года проф. М. А. Шателен, отправляясь в командировку в С.-А. Соединенные Штаты, взял с собой два нормальных элемента Вестона №№ 111—I (92) и 111—II (90), принадлежащих к партии элементов с размельченными кристаллами сернокислой закиси ртути, приготовленных в Главной Палате мер и весов в декабре 1925 г. В промежуток времени с 29 апреля по 15 мая они сравнивались с нормальными элементами Bureau of Standards. Затем, 26 июня они были сравнены в Париже с элементами Laboratoire Central d'Electricité. 11 августа 1926 г. элементы были обратно доставлены М. А. Шателеном в Главную Палату вместе с сертификатами Bureau of Standards и справкой Laboratoire Central d'Electricité о сравнениях, произведенных в этих лабораториях.

Сравнение нормальных элементов №№ 111—I (92) и 111—II (90) при температуре 20° С с эталоном международного вольта Главной

Палаты перед их отправкой за границу и после возвращения их из за-  
границы дало следующие результаты (таблица 1):

Таблица 1.

№№ элементов	Электродвижущая сила при 20° С в международных вольтах			
	Перед отправкой 30.III.26 г.	По возвращении 23.VIII.26 г.	Среднее	$\Delta$
111—I (92)	1,01843 <sub>9</sub>	1,01842 <sub>9</sub>	1,01843 <sub>2</sub>	$-14 \times 10^{-6}$
111—I (90)	1,01843 <sub>9</sub>	1,01842 <sub>4</sub>	1,01843 <sub>2</sub>	$-15 \times 10^{-6}$
Среднее	1,01843 <sub>9</sub>	1,01842 <sub>5</sub>	1,01843 <sub>2</sub>	$-14 \times 10^{-6}$

В последнем столбце таблицы указаны разности между электродвижущими силами нормальных элементов после возвращения их из за-  
границы и электродвижущими силами до отправки за границу. Эти разности  
лежат в пределах возможных колебаний электродвижущей силы элементов.

Сравнение нормальных элементов в Bureau of Standards производи-  
лось при температуре 28° 1 С, необычной для тех условий, в которых  
находятся нормальные элементы в Главной Палате (20° С). Для избежа-  
ния возможных ошибок при переходе от температуры в 20° С к тем-  
пературе 28° 1 С, нормальные элементы №№ 111—I (92) и 111—II (90)  
были подвергнуты измерениям при той же температуре, при которой  
они сравнивались в Bureau of Standards, т.-е. 28° 1 С.

Сравнение наблюдений, произведенных в Bureau of Standards и  
в Главной Палате мер и весов, дает следующие результаты (таблица 2).

Таблица 2.

№№ элементов	Электродвижущая сила при 28° 1 С в между- народных вольтах		
	Bureau of Standards	Главная Палата	$\Delta$ Гл. Пал.—В. С.
111—I (92)	1,01797 <sub>9</sub>	1,01803 <sub>5</sub>	$+56 \times 10^{-6}$
111—II (90)	1,01796 <sub>9</sub>	1,01802 <sub>5</sub>	$+56 \times 10^{-6}$
Среднее	1,01797 <sub>4</sub>	1,01803 <sub>0</sub>	$+56 \times 10^{-6}$

Из последнего столбца таблицы следует, что международный вольт  
Главной Палаты меньше международного вольта Bureau of Standards  
на 56 микровольт.

В Laboratoire Central d'Electricité было произведено только одно  
наблюдение над нормальными элементами, вскоре после доставки их

в лабораторию, так что относительно этой лаборатории Главная Палата не располагает такими же полными данными, как для других лабораторий.

Результаты сравнений в Laboratoire Central d'Electricité и в Главной Палате мер и весов приведены в таблице 3. За величину электродвижущей силы элементов в Главной Палате принято указанное в таблице 1 среднее.

Таблица 3.

№№ элементов	Электродвижущая сила при 20° С в между- народных вольтах		
	Laboratoire Central d'Electricité	Главная Палата	$\Delta$ Гл. Пал.—L. C. E.
111—I (92)	1,01832 <sub>0</sub>	1,01843 <sub>2</sub>	+ 112 × 10 <sup>-6</sup>
111—II (90)	1,01834 <sub>0</sub>	1,01843 <sub>2</sub>	+ 92 × 10 <sup>-6</sup>
Среднее	1,01833 <sub>0</sub>	1,01843 <sub>2</sub>	+ 102 × 10 <sup>-6</sup>

После того, как результаты сравнений нормальных элементов были опубликованы в Comptes Rendus des séances de la Septième Conférence Générale des Poids et Mesures réunie à Paris en 1927<sup>1)</sup>, R. Jouaust, пом. Директора Laboratoire Central d'Electricité, направил в Международное Бюро мер и весов записку<sup>2)</sup>, в которой указывает, что большая разница в величинах электродвижущей силы нормальных элементов, полученных при сравнениях в Главной Палате и в Laboratoire Central d'Electricité, может быть объяснена частично тем, что нормальные элементы Laboratoire Central готовятся с Hg<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, полученной при помощи электролиза переменным током. Эта разновидность серноокислой закиси ртути дает электродвижущую силу на 50 микровольт выше, чем у элементов, приготовленных с Hg<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, полученной химически или при помощи электролиза постоянным током, что было подтверждено не один раз (см. Bulletin de la Société Française des Electriciens, mars 1910. — Recherches faites à Washington par les représentants des Laboratoires). Поэтому было бы правильнее приписать группе нормальных элементов, служащей эталоном международного вольта в Laboratoire Central d'Electricité, не величину 1,0183 при 20° С, как это было принято во время сравнений, а величину 1,01835 при 20° С.

В этом случае таблица 3 принимает следующий вид (таблица 3а).

<sup>1)</sup> M. F. Malikov et A. C. Kolossov. „Résultats des comparaisons d'éléments appartenant à divers laboratoires, faites par les soins de la Chambre Centrale des Poids et Mesures de l'U.R.S.S.“, pp. 122—126.

<sup>2)</sup> „Remarques sur les comparaisons internationales d'éléments normaux, faites par l'intermédiaire du Bureau Central de l'U.R.S.S.“.

Таблица 3а.

№№ элементов	Электродвижущая сила при 20° С в международных вольтах		
	Laboratoire Central d'Electricité	Главная Палата	Δ Гл. Пал.—Л. С. Е.
111—I (92)	1,01837 <sub>0</sub>	1,01843 <sub>2</sub>	+ 62 × 10 <sup>-6</sup>
111—II (90)	1,01839 <sub>0</sub>	1,01843 <sub>2</sub>	+ 42 × 10 <sup>-6</sup>
Среднее	1,01838 <sub>0</sub>	1,01843 <sub>2</sub>	+ 52 × 10 <sup>-6</sup>

Из этой таблицы 3а видно, что международный вольт Главной Палаты меньше международного вольта Laboratoire Central d'Electricité на 52 микровольта.

Вторая группа нормальных элементов, состоявшая из двух элементов №№ 106—I (211) и 106—II (227), приготовленных в Главной Палате в марте 1927 г., и двух элементов №№ 107—I (200) и 107—II (217), приготовленных в январе 1927 г., была отправлена из Главной Палаты 8 апреля 1927 г. дипломатической почтой в Physikalisch-Technische Reichsanstalt, куда и была доставлена 23 апреля 1927 г. В названной лаборатории над элементами производились наблюдения с мая по октябрь месяца, закончившиеся серией наблюдений с 31 октября по 4 ноября, произведенных одновременно с наблюдениями над третьей указанной ниже группой элементов. Результаты сравнений сообщены проф. Н. v. Steinwehr'ом в письме от 10 октября 1927 г. Из этих четырех нормальных элементов элемент № 107—II (217) оставлен в Р. Т. Reichsanstalt'e, остальные три элемента возвращены Главную Палату 23 ноября 1927 г. вместе с элементами третьей группы.

В таблице 4 указаны результаты сравнения элементов второй группы с эталоном Главной Палаты перед их отправкой за границу и после возвращения их из заграницы:

Таблица 4.

№№ элементов	Электродвижущая сила при 20° С в международных вольтах			
	Перед отправкой 1.IV—2.IV.27 г.	По возвращении 5.XII—7.XII.27 г.	Среднее	Δ
106—I (211)	1,01838 <sub>8</sub>	1,01855 <sub>3</sub>	—	—
106—II (227)	1,01838 <sub>7</sub>	1,01839 <sub>7</sub>	1,01839 <sub>2</sub>	+ 10 × 10 <sup>-6</sup>
107—I (200)	1,01837 <sub>1</sub>	1,01840 <sub>1</sub>	1,01838 <sub>6</sub>	+ 30 × 10 <sup>-6</sup>
—	—	Среднее	1,01838 <sub>9</sub>	+ 20 × 10 <sup>-6</sup>



Элемент № 106—I (211) оказался пострадавшим при перевозке его в P. T. Reichsanstalt и из дальнейших расчетов исключен.

19 сентября 1927 г. А. Н. Доброхотову, отправлявшемуся в качестве делегата на VII Общую Конференцию по мерам и весам в Париж, были переданы нормальные элементы №№ 125—I (192) и 125—II (194), приготовленные в ноябре 1926 г., и №№ 134—I (243) и 134—II (249), приготовленные в июне 1927 г., для доставки их в Physikalisch-Technische Reichsanstalt, куда они и были доставлены 25 сентября, а также нормальные элементы №№ 103—I (218) и 103—II (221), приготовленные в марте 1927 г., и №№ 137—I (153) и 137—II (155), приготовленные в апреле 1926 г., для доставки в National Physical Laboratory; кроме того А. Н. Доброхотов взял с собой также нормальные элементы №№ 111—I (92) и 111—II (90), участвовавшие в сравнениях в Bureau of Standards, для сравнения их, по предложению National Physical Laboratory, с эталоном этой лаборатории. Эти шесть последних элементов были привезены А. Н. Доброхотовым в Международное Бюро мер и весов, откуда они были доставлены по окончании Конференции английским делегатом J. Seagraves'ом в National Physical Laboratory. В последней лаборатории были произведены две серии сравнений этих нормальных элементов с эталоном лаборатории: одна серия при  $15^{\circ}\text{C}$  (11—13 октября 1927 г.), а другая—при  $20^{\circ}\text{C}$  (15—18 октября 1927 г.). Два элемента № 137—I (153) и № 137—II (155) были оставлены в National Physical Laboratory; вместо них National Physical Laboratory направила в Главную Палату два своих элемента №№ 2715 и 2718; эти элементы были подвергнуты тем же самым испытаниям, что и элементы Главной Палаты. Результаты сравнений сообщены Главной Палате Директором National Physical Laboratory J. E. Pettavel'em в письме от 20 октября 1927 г. 19 октября остальные элементы Главной Палаты и два элемента National Physical Laboratory были отправлены обратно в Международное Бюро мер и весов, откуда они были взяты А. Н. Доброхотовым и 29 октября доставлены им для сравнения в Physikalisch-Technische Reichsanstalt. В последнем учреждении все находившиеся там элементы были подвергнуты серии сравнений в промежуток времени с 31 октября по 4 ноября 1927 г. при температуре  $18^{\circ},4$  и  $18^{\circ},45\text{C}$ . Элемент № 125—II (194) оставлен в P. T. Reichsanstalt'e, остальные, вместе с письмом H. v. Steinwehr'a о результатах сравнения элементов в P. T. Reichsanstalt'e, доставлены А. Н. Доброхотовым в Главную Палату мер и весов 23 ноября 1927 г., где они снова были подвергнуты ряду сравнений с эталоном Главной Палаты<sup>1)</sup>.

Результаты сравнения нормальных элементов третьей группы с эталоном Главной Палаты до отправки за границу и по возвращении их из заграницы приведены в таблице 5.

Из последнего столбца таблиц 4 и 5 видно, что электродвижущая сила элементов по их возвращении из заграницы заметно увеличилась. Частично это увеличение можно приписать перемешиванию веществ

<sup>1)</sup> Все наблюдения над нормальными элементами производились в Главной Палате метрологами эталонной электрической лаборатории М. Ф. Маликовым, А. К. Колосовым и Е. С. Чураевой.

в катодном колоне элемента, это особенно относится к элементам № 106—I (211), 111—I (92) и 111—II (90), где оно явно обнаружено при их осмотре. Для элементов № 134—I (243) и 134—II (249), как недавно приготовленных, это увеличение объясняется естественным возрастанием их электродвижущей силы, наблюдающимся иногда у нормальных элементов в первые месяцы после их приготовления.

Таблица 5.

№№ элементов	Электродвижущая сила при 20° С в международных вольтах			
	Перед отправкой 9.IX—13.IX.27 г.	По возвращении 5.XII—7.XII.27 г.	Среднее	$\Delta$
111—I (92)	1,01842 <sub>7</sub>	1,01845 <sub>0</sub>	1,01843 <sub>8</sub>	+ 23 × 10 <sup>-6</sup>
111—II (90)	1,01845 <sub>3</sub>	1,01848 <sub>7</sub>	1,01847 <sub>0</sub>	+ 34 × 10 <sup>-6</sup>
125—I (192)	1,01839 <sub>3</sub>	1,01840 <sub>7</sub>	1,01840 <sub>0</sub>	+ 14 × 10 <sup>-6</sup>
134—I (243)	1,01836 <sub>7</sub>	1,01841 <sub>9</sub>	1,01839 <sub>3</sub>	+ 52 × 10 <sup>-6</sup>
134—II (249)	1,01837 <sub>7</sub>	1,01841 <sub>2</sub>	1,01839 <sub>4</sub>	+ 35 × 10 <sup>-6</sup>
103—I (218)	1,01838 <sub>0</sub>	1,01840 <sub>0</sub>	1,01839 <sub>0</sub>	+ 20 × 10 <sup>-6</sup>
103—II (221)	1,01838 <sub>0</sub>	1,01840 <sub>2</sub>	1,01839 <sub>1</sub>	+ 22 × 10 <sup>-6</sup>
Среднее	1,01839 <sub>7</sub>	1,01842 <sub>0</sub>	1,01841 <sub>1</sub>	+ 29 × 10 <sup>-6</sup>

В дальнейших расчетах за электродвижущую силу нормальных элементов принято арифметическое среднее из ее значения до отправки и после возвращения из заграницы, указанное в четвертом столбце таблиц 4 и 5.

В таблице 6 сопоставлены результаты сравнений нормальных элементов в Physikalisch-Technische Reichsanstalt'e и в Главной Палате мер и весов. Для электродвижущей силы нормальных элементов, измеренной в P. T. Reichsanstalt'e, взято арифметическое среднее всей серии произведенных там наблюдений; приведение электродвижущей силы от температуры наблюдений (18°,4 и 18°,45 С) к температуре 20° С произведено по установленной формуле для нормальных элементов Вестона:

$$E_t = E_{20} - 406 \times 10^{-7} (t - 20) - 95 \times 10^{-8} (t - 20)^2 + 10^{-8} (t - 20)^3.$$

Колебания чисел последнего столбца, в общем незначительные (порядка, в среднем, 6 микровольт), нарушаются данными нормального элемента № 111—I (92), который, как было уже указано выше, пострадал при перевозке. Поэтому осторожней данные для элементов №№ 111—I (92) и 111—II (90), заключенных в одном футляре, не принимать в расчет при выводе среднего, что и сделано в таблице 6.

Из таблицы 6 видно, что международный вольт Главной Палаты практически совпадает с международным вольт P. T. Reichsanstalt'a.

Таблица 6.

№№ элементов	Электродвижущая сила при 20° С в между- народных вольтах		
	Physikalisch- Techn. Reichsanstalt	Главная Палата	Δ Гл. Пал. — Р. Т. В.
106—II (227)	1,01837 <sub>9</sub>	1,01839 <sub>2</sub>	+ 13 × 10 <sup>-6</sup>
107—I (200)	1,01838 <sub>5</sub>	1,01838 <sub>5</sub>	+ 1 × 10 <sup>-6</sup>
111—I (92)	1,01846 <sub>5</sub>	1,01843 <sub>2</sub>	- 25 × 10 <sup>-6</sup>
111—II (90)	1,01847 <sub>2</sub>	1,01847 <sub>0</sub>	- 8 × 10 <sup>-6</sup>
125—I (192)	1,01839 <sub>2</sub>	1,01840 <sub>5</sub>	+ 8 × 10 <sup>-6</sup>
134—I (243)	1,01840 <sub>2</sub>	1,01839 <sub>2</sub>	- 9 × 10 <sup>-6</sup>
134—II (249)	1,01839 <sub>7</sub>	1,01839 <sub>4</sub>	- 3 × 10 <sup>-6</sup>
103—I (218)	1,01839 <sub>2</sub>	1,01839 <sub>0</sub>	- 3 × 10 <sup>-6</sup>
103—II (221)	1,01839 <sub>7</sub>	1,01839 <sub>0</sub>	- 6 × 10 <sup>-6</sup>
2715	1,01833 <sub>5</sub>	1,01834 <sub>0</sub>	+ 5 × 10 <sup>-6</sup>
2718	1,01833 <sub>1</sub>	1,01833 <sub>5</sub>	+ 8 × 10 <sup>-6</sup>
Среднее	1,01837 <sub>9</sub>	1,01838 <sub>1</sub>	+ 2 × 10 <sup>-6</sup>

В таблице 7 произведено сопоставление результатов сравнения нормальных элементов в National Physical Laboratory и в Главной Палате мер и весов, при чем и здесь для электродвижущей силы нормальных элементов, измеренной в National Physical Laboratory, взято арифметическое среднее всей серии наблюдений.

Таблица 7.

№№ элементов	Электродвижущая сила при 20° С в между- народных вольтах		
	National Physical Laboratory	Главная Палата	Δ Гл. Пал. — N. P. L.
111—I (92)	1,01837 <sub>1</sub>	1,01843 <sub>2</sub>	+ 67 × 10 <sup>-6</sup>
111—II (90)	1,01837 <sub>2</sub>	1,01847 <sub>0</sub>	+ 98 × 10 <sup>-6</sup>
103—I (218)	1,01832 <sub>2</sub>	1,01839 <sub>0</sub>	+ 68 × 10 <sup>-6</sup>
103—II (221)	1,01833 <sub>0</sub>	1,01839 <sub>1</sub>	+ 61 × 10 <sup>-6</sup>
2715	1,01827 <sub>0</sub>	1,01834 <sub>0</sub>	+ 61 × 10 <sup>-6</sup>
2718	1,01827 <sub>6</sub>	1,01833 <sub>0</sub>	+ 61 × 10 <sup>-6</sup>
Среднее	1,01830 <sub>2</sub>	1,01836 <sub>5</sub>	+ 63 × 10 <sup>-6</sup>

Здесь элемент № 111—II (90) также нарушает порядок колебаний чисел последнего столбца; при выводе арифметического среднего элемента №№ 111—I (92) и № 111—II (90) также не приняты в расчет.

Из таблицы 7 следует, что международный вольт Главной Палаты меньше международного вольта National Physical Laboratory на 63 микровольта.

Таким образом положение вопроса о единице электродвижущей силы (международном вольте), поскольку он отразился в результате произведенных сравнений нормальных элементов, можно резюмировать в виде следующей таблицы 8, в которой указаны разности между единицами, помещенными в строках, и единицами, стоящими в заголовках столбцов.

Таблица 8.

	Вольт N. P. L.	Вольт P. T. R.	Вольт Гл. Пал.	Вольт B. S.	Вольт L. C. E.
Вольт National Physical Laboratory (Англия)	—	$+61 \times 10^{-6}$	$+63 \times 10^{-6}$	$+7 \times 10^{-5}$	$+11 \times 10^{-6}$
Вольт Physi- kalisches Techni- sche Reichsan- stalt (Германия)	$-61 \times 10^{-6}$	—	+2	-54	-50
Вольт Главной Палаты мер и весов (СССР)	-63	-2	-	-56	-52
Вольт Bureau of Standards (САСШ)	-7	+54	+56	-	+4
Вольт Labo- ratoire Central d'Electricité (Франция)	-11	+50	+52	-4	-

Как видно из таблицы, эти разности ниже предела достоверности, с какой нам известна величина международного вольта (0,01%). Однако, они все же превышают пределы точности изготовления нормальных элементов, достигаемой при современных методах работы (около 20 микровольт), и потому следует поставить на очередь вопрос об уточнении значения в международных вольтах электродвижущей силы нормальных элементов Вестона, установленного в 1910 г. международной комиссией в Вашингтоне с точностью до 0,01% (1,0183 международного вольта при 20° С) в целях получения следующего десятичного знака, соответствующего достигаемой ныне точности воспроизведения единицы при помощи нормальных элементов.

Выносливость нормальных элементов Вестона следует считать практически достаточно хорошей, изменение их электродвижущей силы под влиянием перевозки, в среднем, выражается цифрой порядка 30 микровольт. При особенно тщательной перевозке ее несомненно можно свести до величины того же порядка, как и точность приготовления нормальных элементов.

В заключение представляет интерес привести краткие сведения о нормальных элементах, принимаемых в качестве эталона международного вольта в различных национальных метрологических лабораториях.



В National Physical Laboratory эталон международного вольта представлен и поддерживается ежегодноготавливаемыми группами нормальных элементов. В момент указанных выше сравнений единица определена, как среднее из электродвижущих сил нормальных элементов, приготовленных в 1925 и 1926 г.г. Элементы принадлежат к типу кислых элементов, содержащих 0,1 нормальной серной кислоты. Для этих элементов принимается величина электродвижущей силы на  $6,5 \times 10^{-5}$  вольта меньше, чем для общепринятого нормального элемента Вестона, когда оба они находятся при одной и той же температуре  $15^\circ \text{C}^1$ ).

В Physikalisch-Technische Reichsanstalt'e в 1922 г. было проведено определение электродвижущей силы нормальных элементов Вестона при помощи серебряного вольтметра и изготовлена большая партия нормальных элементов Вестона. Результат исследования привел к заключению, что эталон международного вольта P. T. Reichsanstalt'a продолжает сохранять свою величину неизменной и за среднюю величину электродвижущей силы составляющих его нормальных элементов в P. T. Reichsanstalt'e решено и впредь принимать прежнюю величину 1,01831 международного вольта при  $20^\circ \text{C}^2$ ).

В Главной Палате мер и весов за основной эталон международного вольта принята группа из 20 нормальных элементов Вестона, приготовленных в 1910 году А. Б. Ферингер совместно с F. E. Smith'ом в National Physical Laboratory согласно спецификации Лондонской Международной Конференции об электрических единицах и эталонах 1908 года. Входящие в эту группу элементы были отобраны в 1922 г. из числа наиболее устойчивых, сохранившихся к этому времени. Средняя величина электродвижущей силы всей эталонной группы нормальных элементов принята равной 1,01830 международного вольта при  $20^\circ \text{C}$ , на основании сравнения с элементами National Physical Laboratory, электродвижущая сила которых была установлена по серебряным вольтметрам Международной Комиссии, работавшей в Вашингтоне в 1910 г., а также на основании непосредственных определений их электродвижущей силы по серебряному вольтметру в 1910 и 1912 г.г.

В Bureau of Standards эталонном служит группа нормальных элементов Вестона, средняя величина электродвижущей силы которой принимается равной 1,0183 международного вольта при  $20^\circ \text{C}$ . Время от времени в эталонной группе производится замена нормальных элементов, обнаруживших относительное уменьшение электродвижущей силы, устойчивыми элементами; благодаря таковой замене принимается, что эта группа устойчивых элементов остается существенно постоянной в продолжении нескольких лет; некоторые из элементов сохранились с 1906 г. <sup>3)</sup>

В Laboratoire Central d'Electricité для средней величины электродвижущей силы нормальных элементов принята величина 1,01835 при  $20^\circ \text{C}$ .

<sup>1)</sup> Письмо Директора National Physical Laboratory J. E. Peacock'a от 20 марта 1927 года.

<sup>2)</sup> H. v. Steinwehr und A. Schulze. Nachprüfung der E. M. K. des internationalen Weston Elements mit Hilfe des Silbervoltmeters. Zeitschrift für Instrumentenkunde 1922, 42, Heft 8, pp. 221—231.

<sup>3)</sup> E. C. Crittenden. Present Status of the International Electrical Units. Journal of the A. I. E. E. Vol. XLVI, August 1927, № 8, pp. 769—775.

Приложение.

Таблица I.  
Сравнение нормальных элементов с эталоном Главной Палаты мер и весов.

№№ элементов	Время приготовле- ния	Электромагнитная сила при 20° С в международных вольтах									
		20.III.26	23.VIII.26	1.IV.27	2.IV.27	9.IX.27	13.IX.27	5.XII.27	7.XII.27		
111-I(92)	16.XII.25	1,01841 <sub>1</sub>	1,01842 <sub>5</sub>	—	—	1,01842 <sub>2</sub>	1,01842 <sub>7</sub>	1,01845 <sub>1</sub>	1,01845 <sub>1</sub>	1,01844 <sub>4</sub>	1,01844 <sub>4</sub>
111-II(90)	16.XII.25	1,01843 <sub>5</sub>	1,01842 <sub>4</sub>	—	—	1,01844 <sub>6</sub>	1,01845 <sub>5</sub>	1,01845 <sub>5</sub>	1,01845 <sub>5</sub>	1,01848 <sub>8</sub>	1,01848 <sub>6</sub>
106-I(211)	5.III.27	—	—	1,01838 <sub>9</sub>	1,01838 <sub>7</sub>	—	—	—	1,01855 <sub>3</sub>	—	—
106-II(227)	5.III.27	—	—	1,01838 <sub>8</sub>	1,01838 <sub>6</sub>	—	—	—	1,01859 <sub>9</sub>	1,01839 <sub>7</sub>	1,01839 <sub>7</sub>
107-I(200)	14.I.27	—	—	1,01837 <sub>1</sub>	1,01837 <sub>1</sub>	—	—	—	1,01840 <sub>5</sub>	1,01839 <sub>6</sub>	1,01839 <sub>6</sub>
107-II(217)	14.I.27	—	—	1,01838 <sub>5</sub>	1,01837 <sub>6</sub>	—	—	—	—	—	—
125-I(192)	13.XI.26	—	—	—	—	1,01839 <sub>1</sub>	1,01839 <sub>9</sub>	1,01840 <sub>8</sub>	1,01840 <sub>8</sub>	1,01840 <sub>5</sub>	1,01840 <sub>5</sub>
125-II(194)	13.XI.26	—	—	—	—	1,01840 <sub>4</sub>	1,01840 <sub>4</sub>	1,01840 <sub>6</sub>	—	—	—
134-I(243)	16.VI.27	—	—	—	—	1,01835 <sub>7</sub>	1,01837 <sub>6</sub>	1,01837 <sub>6</sub>	1,01842 <sub>2</sub>	1,01841 <sub>4</sub>	1,01841 <sub>4</sub>
134-II(249)	16.VI.27	—	—	—	—	1,01837 <sub>1</sub>	1,01838 <sub>2</sub>	1,01838 <sub>2</sub>	1,01841 <sub>0</sub>	1,01840 <sub>2</sub>	1,01839 <sub>7</sub>
103-I(218)	5.III.27	—	—	—	—	1,01838 <sub>1</sub>	1,01837 <sub>8</sub>	1,01837 <sub>8</sub>	1,01840 <sub>4</sub>	1,01839 <sub>9</sub>	1,01839 <sub>9</sub>
103-II(221)	5.III.27	—	—	—	—	1,01835 <sub>1</sub>	1,01837 <sub>7</sub>	1,01836 <sub>6</sub>	1,01840 <sub>4</sub>	—	—
137-I(153)	30.IV.26	—	—	—	—	1,01834 <sub>7</sub>	1,01836 <sub>6</sub>	1,01836 <sub>6</sub>	—	—	—
137-II(155)	30.IV.26	—	—	—	—	1,01835 <sub>1</sub>	1,01835 <sub>1</sub>	1,01835 <sub>1</sub>	—	—	—
2715 <sup>1)</sup>	1927	—	—	—	—	—	—	—	1,01894 <sub>0</sub>	1,01893 <sub>9</sub>	1,01893 <sub>9</sub>
2718 <sup>1)</sup>	1927	—	—	—	—	—	—	—	1,01893 <sub>9</sub>	1,01893 <sub>9</sub>	1,01893 <sub>9</sub>

<sup>1)</sup> Элементы №№ 2715 и 2718 получены из National Physical Laboratory.

Таблица II.

Сравнение нормальных элементов №№ 111—I(92) и 111—II(90) при температуре 28,1° С с эталоном Главной Палаты мер и весов.

№№ элементов	Электродвижущая сила при 28,1° С в международных вольтах					
	5.IX.26	6.IX.26	15.IX.26	16.IX.26	16.IX.26	Среднее
111—I(92)	1,01804 <sub>5</sub>	1,01804 <sub>6</sub>	1,01804 <sub>1</sub>	1,01800 <sub>4</sub>	1,01803 <sub>6</sub>	1,01803 <sub>5</sub>
111—II(90)	1,01802 <sub>4</sub>	1,01802 <sub>4</sub>	1,01802 <sub>6</sub>	1,01803 <sub>3</sub>	1,01802 <sub>3</sub>	1,01802 <sub>7</sub>

Таблица III.

Сравнение нормальных элементов № № 111—I(92) и 111—II(90) с эталоном Bureau of Standards (по данным сертификата Bureau of Standards от 19 мая 1926 г.).

№№ элементов	Электродвижущая сила при 28,1° С в международных вольтах					
	29.IV.26	30.IV.26	1.V.26	3.V.26	4.V.26	5.V.26
111—I(92)	1,01797 <sub>3</sub>	1,01797 <sub>9</sub>	1,01797 <sub>8</sub>	1,01797 <sub>6</sub>	1,01797 <sub>7</sub>	1,01797 <sub>6</sub>
111—II(90)	1,01797 <sub>2</sub>	1,01796 <sub>6</sub>	1,01796 <sub>7</sub>	1,01797 <sub>0</sub>	1,01796 <sub>8</sub>	1,01796 <sub>7</sub>
	6.V.26	11.V.26	12.V.26	13.V.26	14.V.26	15.V.26
111—I(92)	1,01797 <sub>9</sub>	1,01797 <sub>6</sub>	1,01798 <sub>6</sub>	1,01797 <sub>9</sub>	1,01796 <sub>0</sub>	1,01797 <sub>5</sub>
111—II(90)	1,01797 <sub>0</sub>	1,01797 <sub>0</sub>	1,01797 <sub>2</sub>	1,01796 <sub>0</sub>	1,01796 <sub>0</sub>	1,01796 <sub>7</sub>

Среднее: для № 111—I(90): 1,01797<sub>9</sub> международного вольта.  
 для № 111—II(92): 1,01796<sub>9</sub> . . . . .

Таблица IV.

Сравнение нормальных элементов №№ 111—I(92) и 111—II(90) с эталоном Laboratoire Central d'Electricité (по данным справки из Laboratoire Central d'Electricité от 27 июня 1926 г.).

№№ элементов	Электродвижущая сила при 20° С в международных вольтах, 27.IV.26
111—I(92)	1,01832 <sub>0</sub>
111—II(90)	1,01834 <sub>0</sub>

Таблица V.

Сравнение нормальных элементов №№ 106—I(211), 106—II(227), 107—I(200) и 107—II(217) с эталоном P. T. Reichsanstalt'a (по данным письма H. v. Steinvehr'a из P.T.R. от 10 октября 1927 г.).

№№ элементов	Электродвижущая сила при 20° С в международных вольтах, средняя за время V—X1927 г.
106—I(211)	1,01844
106—II(227)	1,01838
107—I(200)	1,01838
107—II(217)	1,01838 <sub>6</sub>

Таблица VI.

Сравнение нормальных элементов с эталоном National Physical Laboratory (по данным письма директора National Physical Laboratory J. E. Petavel'я от 20 октября 1927 г.).

№№ элементов	Электродвижущая сила при 20° С в международных вольтах			
	15.X.27	17.X.27	18.X.27	Среднее
111—I(92)	1,01837 <sub>2</sub>	1,01836 <sub>9</sub>	1,01837 <sub>1</sub>	1,01837 <sub>1</sub>
111—II(90)	1,01837 <sub>4</sub>	1,01837 <sub>1</sub>	1,01837 <sub>1</sub>	1,01837 <sub>2</sub>
103—I(218)	1,01831 <sub>4</sub>	1,01832 <sub>4</sub>	1,01832 <sub>4</sub>	1,01832 <sub>2</sub>
103—II(221)	1,01833 <sub>4</sub>	1,01832 <sub>9</sub>	1,01832 <sub>9</sub>	1,01833 <sub>2</sub>
137—I(153)	1,01830 <sub>0</sub>	1,01830 <sub>0</sub>	1,01830 <sub>0</sub>	1,01830 <sub>4</sub>
137—II(155)	1,01831 <sub>9</sub>	1,01831 <sub>4</sub>	1,01831 <sub>4</sub>	1,01831 <sub>5</sub>
2715	1,01827 <sub>7</sub>	1,01827 <sub>9</sub>	1,01828 <sub>1</sub>	1,01827 <sub>9</sub>
2718	1,01827 <sub>9</sub>	1,01827 <sub>7</sub>	1,01827 <sub>7</sub>	1,01827 <sub>8</sub>

Таблица VII.

Сравнение нормальных элементов с эталоном P. T. Reichsanstalt'a (по данным письма H. v. Steinvehr'a из P. T. R.).

№№ элементов	Электродвижущая сила в международных вольтах			
	3.X.27 при 18,4° С	1.XI.27 при 18,4° С	3.XI.27 при 18,45° С	4.XI.27 при 18,45° С
111—I(92)	1,01852 <sub>5</sub>	1,01852 <sub>5</sub>	1,01852 <sub>5</sub>	1,01852 <sub>5</sub>
111—II(90)	1,01854	1,01854	1,01854	1,01854
106—I(211)	1,01846	—	1,01846	1,01846
106—II(227)	1,01843 <sub>5</sub>	—	1,01844	1,01844
107—I(200)	1,01844 <sub>5</sub>	—	1,01845	1,01845 <sub>5</sub>
107—II(217)	1,01845	—	1,01845	1,01845 <sub>5</sub>
125—I(192)	1,01845	—	1,01845 <sub>5</sub>	1,01845 <sub>5</sub>
125—II(194)	1,01849 <sub>3</sub>	—	1,01849 <sub>1</sub>	1,01850
134—I(243)	1,01848	—	1,01846 <sub>5</sub>	1,01846 <sub>5</sub>
134—II(249)	1,01845 <sub>5</sub>	—	1,01846	1,01846
103—I(218)	1,01845 <sub>5</sub>	1,01845 <sub>5</sub>	1,01845 <sub>5</sub>	1,01845 <sub>5</sub>
103—II(221)	1,01846	1,01845 <sub>5</sub>	1,01846	1,01846
2715	1,01839 <sub>5</sub>	1,01839 <sub>5</sub>	1,01839 <sub>5</sub>	1,01840
2718	1,01839	1,01839	1,01839 <sub>5</sub>	1,01839 <sub>5</sub>



## СРАВНЕНИЕ НОРМАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ГЛАВНОЙ ПАЛАТЕ И В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ В ПАРИЖЕ В 1928 г.

М. Ф. Маликов.

В предыдущей статье было указано на неполноту сравнений нормальных элементов в Laboratoire Central d'Electricité в Париже, поэтому весьма желательно было повторить сравнения в этой Лаборатории при первой возможности.

8 ноября 1928 года, отправляясь в Париж для участия в работах Консультативного Электрического Комитета при Международном Комитете мер и весов, я взял с собой для перевозки на руках два нормальных элемента Вестона №№ 129—I (366) и 129—II (374), приготовленных в эталонной электрической лаборатории в конце октября 1928 года А. К. Колосовым согласно спецификации, принятой для эталонных групп нормальных элементов (Электрические и световые эталоны СССР. Издание Главной Палаты № 60, 1928, стр. 86—89. А. К. Колосов. «Спецификация для изготовления нормальных элементов Вестона»).

По приезде в Париж элементы были доставлены 18 ноября в Laboratoire Central d'Electricité, где они были помещены в надлежащие условия и 26—28 ноября R. Jouaust сравнил их с эталонами Лаборатории. 10 декабря элементы были доставлены мной обратно в Главную Палату вместе с справкой Лаборатории о произведенных сравнениях.

Сравнения нормальных элементов с эталоном международного вольта Главной Палаты мер и весов, перед их отправкой за границу и после возвращения из-заграницы, дали следующие результаты:

№№ элементов	Электродвижущая сила при 20°C в международных вольтах			
	Перед отправкой 5.XI.1928	По возвращении 15.XII.1928	Среднее	$\Delta$
129—I (366)	1,01841 <sub>5</sub>	1,01841 <sub>1</sub>	1,01841 <sub>3</sub>	$-4 \times 10^{-6}$
129—II (374)	1,01841 <sub>1</sub>	1,01840 <sub>9</sub>	1,01841 <sub>0</sub>	$-2 \times 10^{-6}$
Среднее:	1,01841 <sub>3</sub>	1,01841 <sub>0</sub>	1,01841 <sub>2</sub>	$-3 \times 10^{-6}$

Из последнего столбца таблицы видно, что разности между электродвижущими силами нормальных элементов после возвращения из-заграницы и до отправки за границу совершенно незначительны, т.е. электродвижущие силы элементов практически не изменились при перевозке.

Последующие сравнения элементов, произведенные 12 января и 28 февраля 1929 года, показали полную устойчивость элементов, как это видно из нижеследующей таблицы:

№№ элементов	Электродвижущая сила при 20°C в между- народных вольтах		
	15.XII.1928.	12.I.1929.	28.II 1929.
129—I (366)	1,01841 <sub>1</sub>	1,01841 <sub>1</sub>	1,01841 <sub>2</sub>
129—II (374)	1,01840 <sub>0</sub>	1,01841 <sub>0</sub>	1,01841 <sub>2</sub>

Сопоставление сравнений, произведенных в Laboratoire Central d'Electricité и в Главной Палате, приводит к следующим результатам:

№№ элементов	Электродвижущая сила при 20°C в междуна- родных вольтах		
	Laboratoire Centrale d'Electricité	Главная Палата	Гл. П. $\frac{\Delta}{L. C. E.}$
129—I (366)	1,01837	1,01841 <sub>2</sub>	$+43 \times 10^{-6}$
129—II (374)	1,01836	1,01841 <sub>0</sub>	$+50 \times 10^{-6}$
Среднее:	1,01836 <sub>5</sub>	1,01841 <sub>2</sub>	$+47 \times 10^{-6}$

Откуда следует, что международный вольт Главной Палаты меньше международного вольта Laboratoire Central d'Electricité на 47 микровольт.

Сравнения, произведенные в 1926 г., дали для разности между единицами обоих учреждений число — 52 микровольта. Разница в + 5 микровольт между результатами сравнений 1928 и 1926 года лежит всецело в пределах ошибок измерения, так что полученный в 1928 году результат служит превосходным подтверждением надежности результата, полученного в 1926 году.

## НОВАЯ ФОРМА НОРМАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВЕСТОНА.

М. Ф. Маликов.

Еще в 1924 году мною предложена новая форма нормальных элементов Вестона, отличающаяся от классической И-образной формы, при этом имелось в виду достижение портативности, имеющей немаловажное значение при огромных расстояниях СССР, и уменьшение числа спаянных мест у стеклянной оболочки, опасных своей склонностью к образованию с течением времени незаметных на-глаз трещин, открывающих путь для проникновения внутрь элементов масла и способствующих их высыханию. Особенность новой формы заключается в помещении катодной ветви внутри анодной так, что снаружи элемента выступает только ее нижняя часть.

В том же 1924 году А. К. Колосов приготовил первые элементы новой формы одновременно с партией элементов И-образной формы. При изготовлении следующих элементов новой формы в первоначальный вариант стеклянной оболочки им вводились по указанию опыта усовершенствования и, в конце концов, новые элементы получили вид, представленный на рис. 1 и 2.

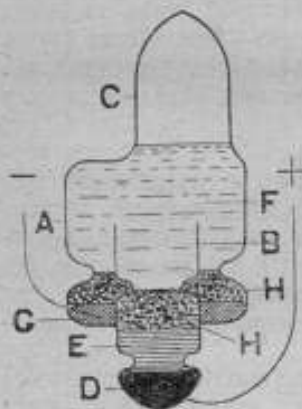


Рис. 1.

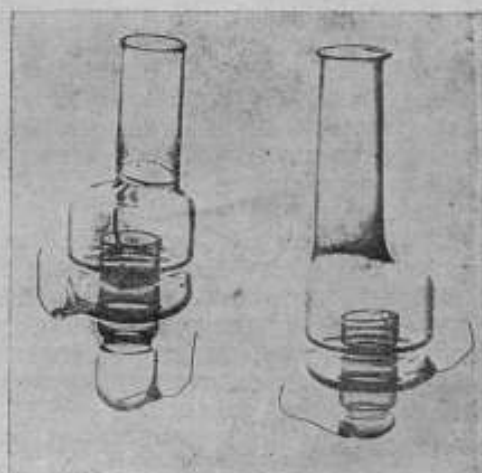


Рис. 2.

На рис. 1 дано схематическое изображение нормального элемента новой формы. Катодная ветвь *B*, диаметром около 11 мм, входит внутрь анодной ветви *A*, имеющей диаметр около 24 мм. Цилиндрический отро-

сток *C*, диаметром около 13 мм, служит для заполнения элемента. В целях облегчения заполнения обеих ветвей соответствующими компонентами, отросток *C* расположен не симметрично по отношению к осям этих ветвей. *D*—ртуть, отделенная перетяжкой от остальной части внутренней ветви; эта перетяжка затрудняет проникновение ртути в верхнюю часть ветви при окислении элемента. *E*—паста, *H*—размельченные кристаллы сернистого кадмия, насыпаемые до второй верхней перетяжки катодной ветви. В анодной ветви—*G* означает амальгаму, заполняющую нижнюю часть кольцеобразного пространства, образуемого обеими ветвями, *H*—размельченные кристаллы сернистого кадмия, также насыпаемые до сужения в анодной ветви *A*. Насыщенный раствор *F* сернистого кадмия наполняет все свободное пространство анодной ветви до основания отростка *C*. Отросток *C* запаивается на высоте 25—30 мм от основания. Платиновые проволочки впаяны в оболочку, как показано на рис. 1. Общие размеры элемента следующие: наибольший диаметр элемента—около 24 мм, высота до основания отростка *C*—около 33 мм, а вместе с отростком—около 60 мм. Из рисунка видно, что стеклянная оболочка элемента имеет только одно место впая катодной ветви в анодную и только одну запайку отростка *C* у готового элемента. В элементах *H*-образной формы имеются два спая поперечной трубки и две запайки у каждой ветви. Кроме того, для нормального элемента новой формы благоприятны также и температурные условия, в виду очень близкого друг к другу расположения нижних частей обеих ветвей; в элементах *H*-образной формы эти ветви отстоят друг от друга на некотором расстоянии, при котором не исключена возможность влияния разности температур среды (масла, воздуха) в местах расположения ветвей.

На рис. 2 даны фотографии стеклянных оболочек. Слева—более ранняя форма, у которой вся нижняя часть катодной ветви вынесена наружу и нет особой перетяжки для ртути. Справа—позднейшая форма, схематически изображенная на рис. 1, в которой имеется перетяжка для ртути и внутренняя ветвь более вдвинута во внешнюю, чем достигается еще большая компактность элемента.

Как и следовало ожидать, по своим электрическим свойствам нормальные элементы новой формы, в общем, одинаковы с нормальными элементами *H*-образной формы. В таблице I приведены некоторые данные, характеризующие новые элементы, взятые из серии наблюдений, произведенных Е. С. Чураевой в течение ряда лет. В той же таблице для сравнения сопоставлены данные, относящиеся к нормальным элементам *H*-образной формы, приготовленным из тех же материалов одновременно с элементами новой формы.

Из таблицы видно, что разности электродвижущих сил нормальных элементов обеих форм, вообще говоря, не выходят из пределов точности воспроизведения. Внутреннее сопротивление элементов обеих форм также одного и того же порядка.

Для нормальных элементов новой формы мною спроектированы футляры и способ их укрепления в футлярах, изображенные на рис 3 и 4. Как видно из рис. 3, нормальный элемент подвешен к эбонитовой крышке, на которой помещены зажимы, при помощи двух пружинящих пластинок,



Таблица I.

Время приготовления элементов	Формы элементов	Среднее сопротивление в омах.	Средняя электродвижущая сила при 20°C в милливатных вольтгах						Примечания
			В перв. дни после приготовления	Через 1 мес. после приготовления	Через 6 мес. после приготовления	Через 1 год после приготовления	Через 2 года после приготовления	Через 4 года после приготовления	
12. VI. 1924	Новая И-образная	650	1,01774	1,01835 <sub>5</sub>	1,01840	1,01889 <sub>5</sub>	1,01839	1,01843 <sub>5</sub>	Первый вариант оболочки (большой размер). Амальгама 12,5% Hg <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> получена химическим способом.
12. VI. 1924	Новая И-образная	470	1,01800 <sub>5</sub>	1,01840	1,01843 <sub>5</sub>	1,01842 <sub>5</sub>	1,01842	1,01839	Первый вариант оболочки. Амальгама 12,5% Hg <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> получена электролитически.
12. VI. 1924	Новая И-образная	350	1,01734 <sub>5</sub>	1,01835	1,01837	1,01837 <sub>5</sub>	1,01838	1,01839	Первый вариант оболочки. Амальгама 12,5% Hg <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> получена электролитически при сильном помешивании.
10. V. 1926	Новая И-образная	1420	1,01824 <sub>5</sub>	1,01835 <sub>5</sub>	1,01835	1,01836	1,01835 <sub>5</sub>	1,01835 <sub>5</sub>	Второй вариант оболочки (малый размер). Амальгама 10% Hg <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> получена химическим осаждением.
13. XI. 1926	Новая И-образная	820	1,01836 <sub>5</sub>	1,01838	1,01837 <sub>5</sub>	1,01836 <sub>5</sub>	1,01835	1,01835	Второй вариант оболочки. Амальгама 10% Hg <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> получена химическим осаждением. Исти жидкая.
16. VI. 1927	Новая И-образная	500	1,01822 <sub>5</sub>	—	1,01834 <sub>5</sub>	1,01835	1,01835	1,01835	Третий вариант оболочки (рис. 2 слева). Амальгама 10% Hg <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> приготовлена фирмой E. H. S. L.
3. IV. 1928	Новая И-образная	440	—	1,01837 <sub>5</sub>	1,01833 <sub>5</sub>	1,01833 <sub>5</sub>	1,01833 <sub>5</sub>	1,01833 <sub>5</sub>	Последний вариант оболочки (рис. 2 справа). Элементы изготовлены согласно спецификации, прилагаемой для 2-й итальянской группы.
		570							

верхние части которых поджаты под зажимы; к этим пластинкам поджимаются проволоки, впаянные в элемент. Элемент снизу опирается на эбонитовый брусочек, а сверху на отросток *C* надевается эбонитовый кружок с соответствующим вырезом для отростка. Брусочек и кружок привинчиваются к пластинкам. Крышка вместе с элементом вставляется в латунный футляр, изображенный на рис. 4. Общий вес элемента в футляре около 260 г. На обоих рис. 3 и 4 помещен сантиметровый масштаб, дающий представление о действительных размерах прибора.

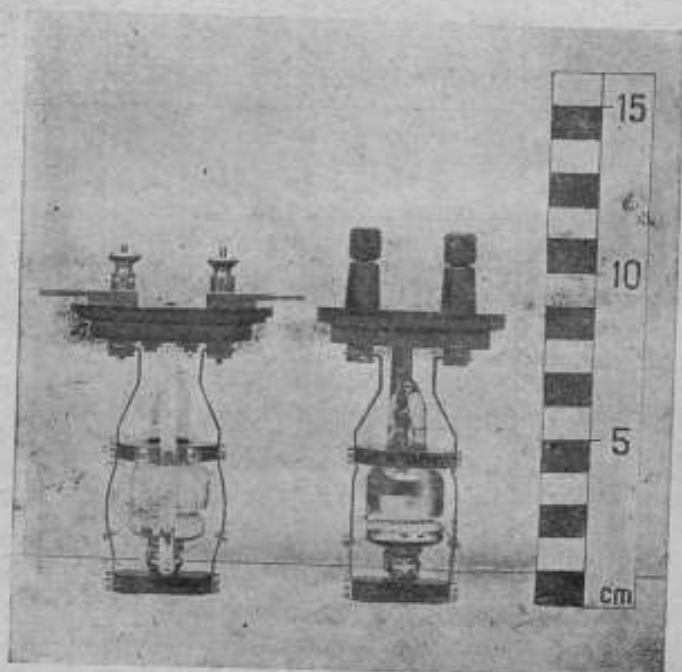


Рис. 3.

На рис. 4, кроме того, справа помещен для сравнения нормальный элемент Н-образной формы в металлическом футляре, изготовленном мастерскими Главной Палаты (общий вес нормального элемента Н-образной формы в футляре около 650 г).

На рис. 3 справа, и соответственно на рис. 4 посередине, изображен, так сказать, ходовой тип футляра для нормального элемента. Он имеет на крышке два зажима обычной формы и трубочку для термометра. Слева на тех же рисунках изображен специальный тип футляра, предназначенный для помещения нормального элемента в компенсационный прибор или другую измерительную установку. Его зажимы снабжены ножами, которые входят в скобы, расположенные на рабочей доске компенсационного прибора и соединенные проводниками с соответствующими

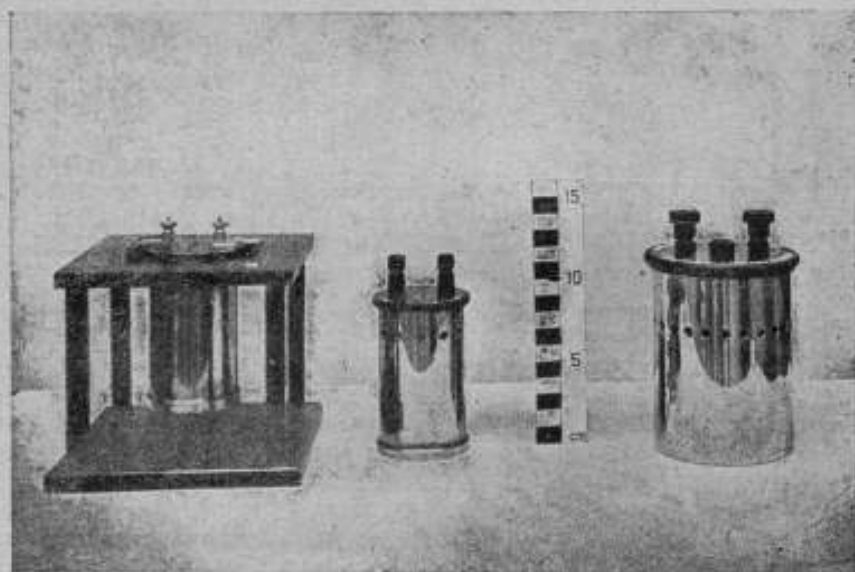


Рис. 4.



Рис. 5.

точками его схемы. Простым поворотом по часовой стрелке или против нее можно легко вставить и включить нормальный элемент в компенсационный прибор или выключить и вынуть его из прибора (рис. 5). Этот прибор кроме того снабжен термометром Г-образной формы, вертикальная часть которого видна на рис. 3 (слева), а горизонтальная часть со шкалой от  $15^{\circ}$  до  $25^{\circ}$ , помещенная в специальном прорезе в крышке, видна на рис. 5.

Имея в виду сказанное выше, можно надеяться, что нормальный элемент новой формы получит распространение во всех тех случаях, где портативность играет роль.

СВЕТОВЫЕ ЭТАЛОНЫ-СВИДЕТЕЛИ С—I, и С—II, ВТОРИЧНЫЙ ЭТАЛОН  
II—2 И СЛИЧЕНИЕ ИХ С ОСНОВНЫМ СВЕТОВЫМ ЭТАЛОНОМ СССР.

П. М. Тиходеев.

После того, как был установлен основной световой эталон СССР (см. «Временник», № 2 (14), 1928), дело хранения его намечалось следующим образом. Должна быть изготовлена группа электрических эталонных ламп особо надежного устройства. Лампы предварительно всесторонне изучаются в отношении различных своих свойств и, главное, их устойчивости. Эти лампы и следует включить в основной световой эталон. Для установления же точного соотношения значения международной свечи СССР с таковыми других стран предполагалось часть изученных ламп сравнить с эталонами *Laboratoire Central d'Electricité*, *National Physical Laboratory* и *Bureau of Standards*. Намеченные работы по необходимости имеют длительный характер. Одно из наиболее серьезных затруднений, которые нужно преодолеть, это—изготовление надежных электрических ламп. Устройство таких ламп к настоящему времени вполне разработано<sup>1)</sup>. Пробные образцы изготавливаются<sup>2)</sup> и изучаются. Полученные результаты еще, однако, не считаются окончательными. В виду большой ответственности, лежащей на деле хранения основного эталона, представлялось желательным применить уже теперь те или иные меры, которые могли бы содействовать большей обеспеченности и надежности поддержания основного светового эталона. С этой целью и было признано желательным установить эталоны-свидетели.

Эталон-свидетель первый (С—I) состоит из тридцати пустотных электрических ламп накаливания с вольфрамовой нитью. Они изготовлены по заказу Главной Палаты мер и весов заводом «Osram» General Electric Company L-d в 1926 г. в Англии. В марте месяце 1927 года они сличены с эталоном международной свечи *National Physical Laboratory* (ниже она сокращенно называется *N. P. L.*). В июне месяце 1927 года они получены в эталонной фотометрической лаборатории Метрологического Института Главной Палаты мер и весов (ниже она сокращенно называется Ф. Л. Г. П.). К настоящему времени с основным эталоном сличены пятнадцать ламп из тридцати.

Эталон-свидетель второй (С—II) состоит из двенадцати пустотных электрических ламп накаливания, среди них шесть—угольных и шесть—вольфрамовых. Эти лампы любезно предоставлены Главной Палате

<sup>1)</sup> Описание ламп подготавливается к печати.

<sup>2)</sup> Заводом электрических ламп „Светлана“; этот завод еще только накаливает опыты по тщательному изготовлению ламп.



мер и весов. Bureau of Standards U. S. A. (ниже сокращенно обозначается В. S.). Они сличены с эталоном международной свечи В. S. в августе месяце 1926 г. В октябре месяце 1926 года они получены в фотометрической лаборатории Главной Палаты мер и весов.

Эталон-свидетель третий (С—III) состоит из восемнадцати (это число не является окончательным) пустотных электрических ламп накаливания. Десять из них — угольные и восемь — вольфрамовые. Эти лампы были заказаны Главной Палатой мер и весов Laboratoire Central d'Electricité. Они были сличены с эталоном международной свечи названной Лаборатории в мае месяце 1927 года. В сентябре месяце 1927 года они получены в фотометрической лаборатории. Эталон-свидетель третий к настоящему времени еще не сличен с основным и не установлен.

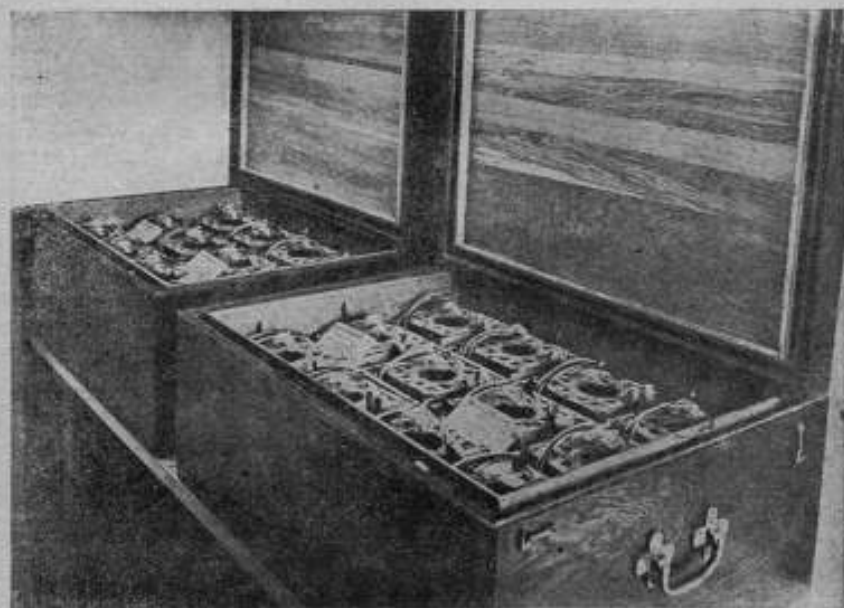


Рис. 1. Основной световой эталон.

Эталонам-свидетелям предусматривается такое назначение. Они с предельной точностью сличаются с основным эталоном. Далее, они хранятся, приблизительно, в таких же условиях, как и основной эталон. Через относительно длительные промежутки времени, например, 2—3 года — в зависимости от поведения основного эталона — производится повторное сличение, на основании которого возможно будет сделать те или иные выводы.

Установление первого и второго эталонов-свидетелей было приурочено к тому времени, когда нужно было сличать с основным эталоном вторичный. Впервые вторичный эталон был сличен с основным в ноябре месяце 1925 г. С тех пор основной эталон находился в состоянии полного

покою. Все же работы фотометрической лаборатории на протяжении почти двух лет опирались на вторичный эталон П—1. Образующие его лампы ныне оказалось возможным заменить более надежными. Вначале предполагалось составить его из ламп конструкции Ф. Л. Г. П., изготовленных заводом «Светлана». Однако, качества этих ламп, обусловленные

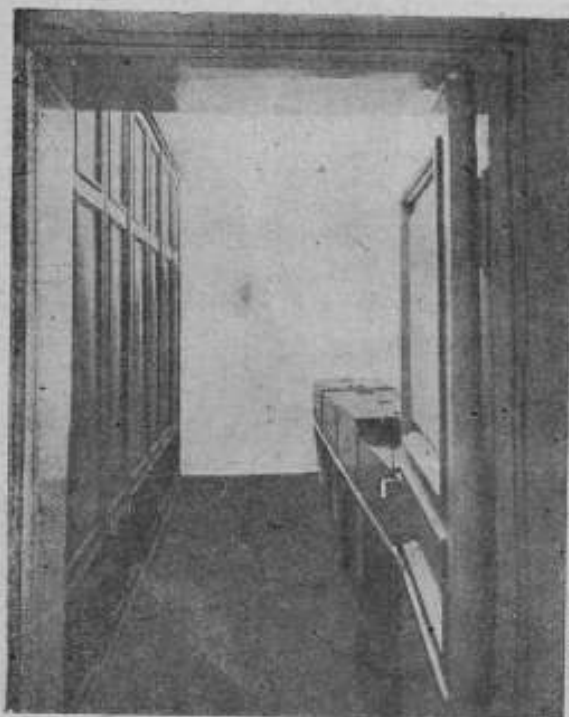


Рис. 2. Хранилище эталонных ламп.

условиями изготовления, в отношении скорости спада силы света за время горения оказались не наилучшими, хотя в смысле своей конструкции они и имели несомненные достоинства. Поэтому решено было образовать вторичный эталон из пустотных электрических ламп накаливания, изготовленных заводом Филипс в Голландии по заказу Главной Палаты мер и весов.

Работы по сличению эталонно-свидетелей и вторичного с основным были выполнены 19—26 июля 1927 г. П. М. Тиходевым и Е. Д. Девяtkовой, при чем в электрических измерениях принимал участие также А. М. Сабуренков.

Световые измерения. Способы световых измерений, примененные в настоящей работе,

были те же, что и при установлении основного светового эталона.

Автор применил такое переустройство контрастного фотометра Люмера и Бродгуна (рис. 3). Свет, отражаемый экраном фотометра со стороны измеренной лампы в направлении к глазу, проходит непосредственно сквозь призмы, минуя обычно применяемое зеркало. Таким путем устраняется влияние избирательного отражения последнего. Со стороны ламп сравнения зеркала, притом два вместо обычного одного, сохраняются, так как здесь это не имеет значения. По пути лучей от ламп сравнения поставлено голубое стекло. Цель его—приближать кажущийся цвет экрана фотометра со стороны ламп сравнения к таковому со стороны эталонных ламп<sup>1)</sup>. Контраст был применен обратный по сравнению с обычным: тра-

<sup>1)</sup> Впоследствии автор нашел более удобным применять вместо голубого стекла—голубой экран. Обыкновенно он состоит из прессованного порошка сервокислого бария с примесью индиго или прусской сини.

пещи являются более светлыми, чем наружные поля. Оказалось, что такое расположение контраста является несколько более благоприятным. Автор считает также, что было бы лучше отказаться от окуляра в фотометре, так как неправильное положение глаза относительно этого окуляра может несколько исказить и нарушать картину светового равенства. Но этого не пришлось осуществить, так как для одного из наблюдателей работа без окуляра несколько затруднилась.

Исследование световых свойств белых веществ, применяемых для светомерных экранов, произведенное ранее Е. Д. Девицковой<sup>1)</sup>, как известно, показало, что к выбору их нужно отнестись с известной осторожностью. Дальнейшие работы автора и Е. Д. Девицковой показали, что можно искусственно изготовить экран белый в пределах точности спектрофотометрических измерений. Однако, во времени настоящей работы опыты с получением идеально-белого цвета не были доведены до своего полного окончания. Поэтому из соображений осторожности и наибольшей надежности и определенности был взят экран из чистого серно-кислого бария ( $\text{BaSO}_4$ ). Применение его заведомо вносило ошибку при сличении угольных ламп, которые в числе двух входят в основной эталон и в числе шести в эталон-свидетель второй (С—II). Порядок ошибки известен — около 0,2%. Однако, ныне она не была внесена в связи с тем, что все другие иностранные метрологические лаборатории, с которыми сличены наши эталоны, пользуются экранами, степень приближения коих к идеально-белому неизвестна.

Были применены две лампы сравнения завода Филлипса совершенно того же вида, как и лампы вторичного эталона П—2. Номинальное их напряжение, т.е. соответствующее сроку службы в 1000 часов, — 115 вольт. Они были предварительно отожжены при напряжении 115 вольт в течение 150 часов. Сделано это было для того, чтобы получить у ламп наиболее замедленное уменьшение силы света. Такое состояние лампы с некоторым приближением возможно определить путем последовательного измерения силы света лампы по мере их отжига. Это и было сделано. Но наряду с этим оказалось целесообразным применить и такой прием. У вольфрамовых ламп в первой части их срока службы электрическая мощность, потребляемая во время горения при постоянном напряжении, возрастает, а в дальнейшем падает. Сила света, повидимому, изменяется в соответствии с изменением потребляемой мощности: возрастает при увеличении потребления и обратно. Отсюда естественным является подобрать

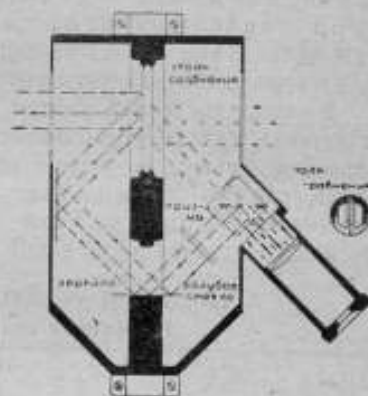


Рис. 3. Измененная схема фотометра Льюмера и Бродгуна.

<sup>1)</sup> См. „Временик“, № 2 (14), 1928.

такой момент в жизни лампы, когда потребляемая мощность перестает или почти перестает изменяться. Наблюдение над этим обстоятельством, произведенное в условиях точных электрических измерений, обнаружало следующее явление. Данная лампа, будучи отожженной, как выше указано, во время горения при некотором повышенном напряжении показывает уменьшение потребляемой мощности, а при известном понижении—увеличение. Не трудно подыскать напряжение, соответствующее постоянству потребляемой мощности, и, как ожидается, постоянству силы света, конечно, с известным приближением.

В условиях данной работы, вследствие стесненности в подборе голубых стекол, оказалось возможным выбрать лишь такое напряжение у ламп сравнения, которое соответствует возрастанию мощности. Но это возрастание, как это показано ниже в ведомости I, в достаточной степени мало. Стоит обратить внимание, что сила тока в 1-й лампе сравнения изменялась плавно, тогда как у 2-й наблюдались небольшие скачки.

## Ведомость I.

## Изменения силы тока ламп сравнения.

Время измерений	Продолжительность горения; часа	Сила тока; амперы		Изменения по сравнению со средней силой тока; проценты		
		1-я лампа сравнения	2-я лампа сравнения	1-я лампа сравнения	2-я лампа сравнения	
19/vii-27	в начале . .	—	0,3352 <sub>3</sub>	0,3424 <sub>0</sub>	-0,04 <sub>2</sub>	-0,02 <sub>0</sub>
	в конце . .	1,42	0,3353 <sub>2</sub>	0,3424 <sub>0</sub>	-0,01 <sub>3</sub>	-0,00 <sub>3</sub>
20/vii-27	в начале . .	2,35	0,3353 <sub>2</sub>	0,3424 <sub>4</sub>	-0,01 <sub>5</sub>	-0,00 <sub>9</sub>
	в конце . .	6,00	0,3353 <sub>5</sub>	0,3424 <sub>2</sub>	-0,00 <sub>6</sub>	+0,00 <sub>0</sub>
21/vii-27	в начале . .	6,69	0,3353 <sub>5</sub>	0,3423 <sub>3</sub>	-0,00 <sub>6</sub>	-0,04 <sub>1</sub>
	в конце . .	12,00	0,3353 <sub>0</sub>	0,3425 <sub>2</sub>	+0,00 <sub>6</sub>	+0,01 <sub>5</sub>
22/vii-27	в начале . .	12,56	0,3353 <sub>2</sub>	0,3423 <sub>7</sub>	+0,00 <sub>3</sub>	-0,02 <sub>0</sub>
	в конце . .	17,49	0,3353 <sub>0</sub>	0,3425 <sub>1</sub>	+0,00 <sub>6</sub>	+0,01 <sub>2</sub>
23/vii-27	в начале . .	18,98	0,3353 <sub>8</sub>	0,3424 <sub>5</sub>	+0,00 <sub>3</sub>	-0,00 <sub>6</sub>
	в конце . .	21,56	0,3354 <sub>0</sub>	0,3425 <sub>3</sub>	+0,00 <sub>2</sub>	+0,01 <sub>3</sub>
25/vii-27	в начале . .	22,46	0,3353 <sub>9</sub>	0,3424 <sub>7</sub>	+0,00 <sub>0</sub>	0,00 <sub>0</sub>
	в конце . .	27,60	0,3354 <sub>2</sub>	0,3425 <sub>0</sub>	+0,01 <sub>5</sub>	+0,02 <sub>0</sub>
26/vii-27	в начале . .	28,63	0,3354 <sub>1</sub>	0,3425 <sub>3</sub>	+0,01 <sub>2</sub>	+0,01 <sub>3</sub>
	в конце . .	34,11	0,3354 <sub>3</sub>	0,3425 <sub>2</sub>	+0,01 <sub>8</sub>	+0,01 <sub>3</sub>
В среднем		0,3353 <sub>7</sub>	0,3424 <sub>7</sub>			
				В среднем	±0,01 <sub>2</sub>	±0,01 <sub>0</sub>



Изменение силы света ламп сравнения учтено было таким образом, что пять ламп вторичного эталона и столько же ламп эталон-свидетели первого измерялись в начале и в конце работы. Считалось, что в среднем эти десять ламп при первом и при повторном измерении покажут одну и ту же силу света. Вместе с тем предполагалось, что сила света ламп сравнения изменяется прямо пропорционально времени. На основании этих предположений и было вычислено влияние изменения силы света ламп сравнения на результаты измерений (см. приложение I). Следующая ведомость II показывает, насколько изменилась сила света ламп сравнения.

То обстоятельство, что оба наблюдателя по разному оценивают изменение сил света ламп сравнения, не представляет возможным объяснить определенным образом. Необходимо отметить, что изменение очень мало, влияние же на конечный результат неощутимо<sup>1)</sup>.

Световые измерения производились двумя наблюдателями; при этом в то время, как один наблюдал в фотометре, другой производил отчеты положений фотометра на светомерной скамье.

Ведомость II.  
Изменение силы света ламп сравнения.

Лампа сравнения	Наблюдатель	Изменение силы света за один час; проценты	Изменение силы света за все время работы; проценты
1-я . . . .	1-й	+ 0,0045 <sub>1</sub>	+ 0,15 <sub>25</sub>
	2-й	+ 0,0000 <sub>1</sub>	+ 0,00 <sub>00</sub>
2-я . . . .	1-й	+ 0,0039 <sub>0</sub>	+ 0,13 <sub>20</sub>
	2-й	- 0,0155 <sub>0</sub>	- 0,53 <sub>08</sub>
В среднем обе для обоих наблюдателей		- 0,0017 <sub>25</sub>	- 0,061

Порядок сличения ламп был выбран такой:

1) П-2-1	17) I-Ф-1	33) С-II-1	49) I-Г-5	65) С-I-14
2) П-2-2	18) I-Ф-2	34) С-II-2	50) I-Г-6	66) С-I-15
3) П-2-3	19) I-Ф-3	35) С-II-3	51) С-II-7	67) П-2-1
4) П-2-4	20) I-Ф-4	36) С-II-4	52) С-II-8	68) П-2-2
5) П-2-5	21) I-Ф-5	37) С-II-5	53) С-II-9	69) П-2-3
6) С-I-1	22) I-Ф-6	38) С-II-6	54) С-II-10	70) П-2-4
7) С-I-2	23) П-2-6	39) I-A-7	55) С-II-11	71) П-2-5
8) С-I-3	24) П-2-7	40) I-A-8	56) С-II-12	72) С-I-1
9) С-I-4	25) П-2-8	41) I-A-9	57) П-2-11	73) С-I-2
10) С-I-5	26) П-2-9	42) I-A-10	58) П-2-12	74) С-I-3
11) I-A-1	27) П-2-10	43) I-A-11	59) П-2-13	75) С-I-4
12) I-A-2	28) С-I-6	44) I-A-12	60) П-2-14	76) С-I-5
13) I-A-3	29) С-I-7	45) I-Г-1	61) П-2-15	
14) I-A-4	30) С-I-8	46) I-Г-2	62) С-I-11	
15) I-A-5	31) С-I-9	47) I-Г-3	63) С-I-12	
16) I-A-6	32) С-I-10	48) I-Г-4	64) С-I-13	

<sup>1)</sup> Т.е., если бы вовсе не учитывать изменение силы света ламп сравнения, то, например, принятое значение международной свечи для вторичного эталона не изменилось бы.

### Электрические измерения.

Ранее применявшаяся схема электрических соединений для измерения напряжения и силы тока у эталонной лампы и у лампы сравнения включала три потенциометра (рис. 4). По соображениям экономии в при-

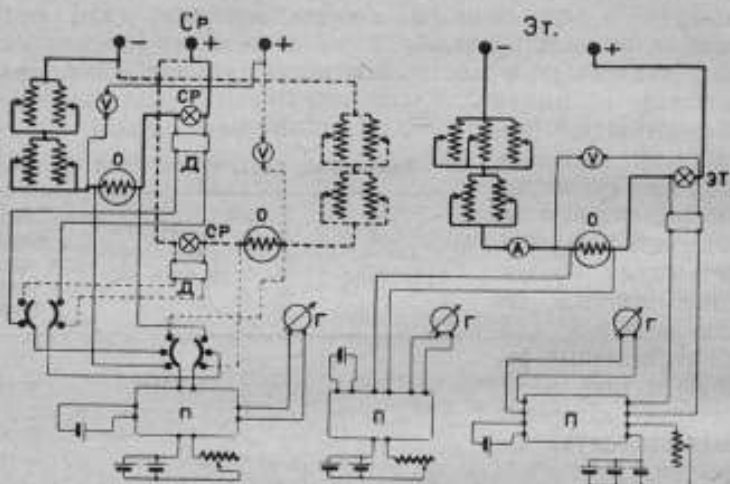


Рис. 4. Ранее применявшаяся схема электрических соединений.

борах ныне применяется схема, содержащая лишь два потенциометра (рис. 5). Один потенциометр все время измеряет напряжение у эталонной лампы; другой — по очереди у первой и второй лампы сравнения,

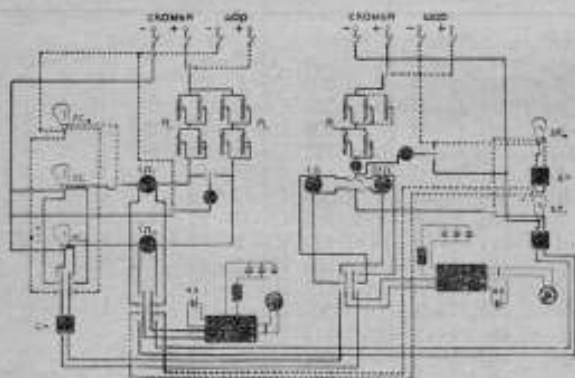


Рис. 5. Ныне применяемая схема электрических соединений.

в зависимости от того, с которой из них производится сравнение. Один наблюдатель имеет возможность следить за постоянством напряжения одновременно помощью обоих потенциометров. После того, как световые измерения с данной лампой закончены, потенциометр от лампы сравнения переключается для измерения силы тока в эталонной лампе. Потенциометр же, обычно

измеряющий напряжение у эталонной лампы, может переключаться для измерения силы тока в каждой из ламп сравнения.

Потенциометры, делители напряжения, нормальные сопротивления, нормальные элементы и термометры были предварительно выверены.

Точность в измерении напряжений доходит до  $\pm 0,002\%$ <sup>1)</sup>, а силы тока—до  $\pm 0,004\%$ .

### Точность измерения длины, установки ламп и т. д.

Точности измерения длин, установки ламп, положения световой оси и т. д. сохранились теми же, какими они были при первой работе по установлению основного светового эталона.

### Основной световой эталон СССР. Его сохранность.

Со времени первой работы по установлению основного светового эталона СССР прошло, сравнительно, немного времени. В силу этого не представлялось особо необходимым в настоящей работе выполнять все то, что было выполнено в первой работе. Так, в частности, лампы не просвечивались в поле трансформатора Тесла. Если бы разрежение в лампах ухудшилось, то это должно было бы отразиться на увеличении потребляемой мощности. Для сохранности ламп очень важное значение имеет постоянство прозрачности колбы. Само по себе изменение прозрачности очень мало вероятно, но, все же, представлялось бы полезным в этом убедиться опытным путем. К сожалению, определение прозрачности колб ламп с достаточной точностью представляет значительные трудности, которые в данному времени еще не разрешены.

Приходится считать, что важнейшим признаком сохранности каждой лампы своей прежней силы света является, в настоящее, по крайней мере, время,—постоянство потребляемой электрической мощности. Если бы состояние поверхности нитей, а равно разрежение в колбе и сопротивление изоляции не изменились, то, конечно, должна была бы излучаться прежняя мощность, и, следовательно, прежняя сила света. В связи с этим автор и считал необходимым производить электрические измерения у эталонных ламп с возможно большей точностью. Однако, конструкция всех ламп основного светового эталона такова, что в ней скрыты некоторые причины, влияющие на постоянство электрического тока при заданном напряжении. Именно, лампы английской группы имеют нить накала, состоящую из пяти отдельных петель, соединенных между собою относительно толстой никелевой проволокой, которая является в то же время поддержкой нити. Нить не приварена к этой поддержке, а лишь крепко зажата. Таким образом, в этих лампах имеется 10 контактов. Конечно, на строго постоянное электрическое сопротивление этих контактов рассчитывать трудно. Петли нити снизу оттягиваются пружинящим крючком; здесь тепловой контакт нельзя считать совершенно постоянным. У ламп французской группы нить изготовлена из одного целого отрезка. Но она не жестко опирается на крючки, так что здесь возможно ожидать некоторого непостоянства теплового контакта, т. е. различного охлаждения

<sup>1)</sup> Точность по отношению к точному значению международного вольт меньше.

нити и, следовательно, не исключена возможность некоторых колебаний в силе света. Размер этих колебаний, очевидно, не велик, так как нить натянута, а не свободно висит на крючках. Важно отметить, что рассматриваемые колебания силы света у французской группы равно возможны и в сторону увеличения и в сторону уменьшения. В среднем для всех ламп французской группы колебания в силе света по этой причине должны бы быть близки к нулю. Что же касается английской группы ламп, то там тоже можно говорить о двузначности влияния контактов на силу света каждой лампы и о ничтожно малом влиянии, в среднем, для всей группы, хотя такое утверждение не столь твердо, как для французской группы.

Нужно отметить также, что на силу тока ламп может влиять и некоторое возможное непостоянство сопротивления изоляции. В частности, могут оказаться переменными токи утечки по поверхности изоляции, например, снаружи цоколя.

Изложенное поясняет, почему наперед следует ожидать некоторого небольшого несовпадения результатов световых и электрических измерений 1925 и 27 г. г. На световые измерения так или иначе должно было повлиять и такое обстоятельство: нить в лампах расположена в одной плоскости, конечно, не с абсолютной точностью. Поэтому, не исключена возможность, что направления, в которых измерилась сила света в 1925 и 27 г. г. не вполне совпадают. Это могло, конечно, в небольшой мере влиять на результат измерения силы света каждой лампы, при том в ту или иную сторону. Но, в среднем, для всех ламп опять-таки влияние должно быть исчезающе мало.

Данные об измерении силы тока в лампах основного эталона приведены в нижеследующей ведомости III.

Как видно, совпадение в значениях силы тока по измерениям 1925 и 1927 года достаточно близко. Некоторая разница, все же, наблюдается. Сделать какие-либо выводы из этого считается пока преждевременным: следует дождаться результатов будущих измерений силы тока, когда (через один—два года) основной эталон вновь будет зажжен. Пока возможно ограничиться лишь тем замечанием, что среднее увеличение силы тока для английской группы в 0,02<sub>4</sub>% соответствует возможному возрастанию силы света, приблизительно на 0,03<sub>2</sub>%<sup>1)</sup>. Подобный же подсчет для всего эталона дает возможное изменение значения международной свечи на 0,02<sub>4</sub>%, т. е. на величину, лежащую в найденных пределах точности значения международной свечи. Заслуживает внимания, что отклонения в силе тока в среднем для ламп составляют лишь 0,007<sub>5</sub> от данных N. P. L. и L. C. E. Это отвечает возможному изменению силы света на 0,01<sub>2</sub>%, т. е. на незначительную величину.

Нижеследующая ведомость IV показывает результаты световых измерений основного светового эталона. Ведомость V содержит ошибки измерений, а ведомость VI—распределение ошибок.

<sup>1)</sup> Сила света растет в 1,5 раза более, чем потребляемая мощность.



## Ведомость III.

Сила тока ламп основного эталона по измерениям Ф. Л. Г. П. в 1925  
и 1927 г. г., N. P. L. в 1925 г. и L. C. E. в 1924 г.

Обозначение лампы	Сила тока; амперы			Разница в измерениях Ф. Л. Г. П. по отношению к данным 1927 г.; проценты	Разница в измерениях Ф. Л. Г. П. 1927 г. и N. P. L. по отношению к данным Ф. Л. Г. П. 1927 г.; проц.
	По измерениям Ф. Л. Г. П. 1925 г.	По измерениям Ф. Л. Г. П. 1927 г.	По измерениям N. P. L. 1925 г.		
I-A-1	0,2858 <sub>7</sub>	0,2860 <sub>5</sub>	0,2858	-0,00 <sub>3</sub>	-0,00 <sub>7</sub>
I-A-2	0,2873 <sub>7</sub>	0,2872 <sub>4</sub>	0,2874	+0,03 <sub>9</sub>	+0,04 <sub>9</sub>
I-A-3	0,2871 <sub>0</sub>	0,2869 <sub>5</sub>	0,2871	+0,00 <sub>2</sub>	+0,00 <sub>2</sub>
I-A-4	0,2869 <sub>4</sub>	0,2869 <sub>4</sub>	0,2869	+0,01 <sub>4</sub>	-0,01 <sub>4</sub>
I-A-5	0,2860 <sub>1</sub>	0,2867 <sub>8</sub>	0,2868	+0,04 <sub>5</sub>	+0,00 <sub>7</sub>
I-A-6	0,2881 <sub>2</sub>	0,2880 <sub>1</sub>	0,2881	+0,03 <sub>2</sub>	+0,03 <sub>1</sub>
I-A-7	0,2864 <sub>1</sub>	0,2863 <sub>5</sub>	0,2864	+0,02 <sub>1</sub>	+0,01 <sub>7</sub>
I-A-8	0,2856 <sub>4</sub>	0,2857 <sub>2</sub>	0,2856	-0,04 <sub>9</sub>	-0,06 <sub>9</sub>
I-A-9	0,2884 <sub>4</sub>	0,2882 <sub>2</sub>	0,2885	+0,05 <sub>2</sub>	+0,07 <sub>6</sub>
I-A-10	0,2880 <sub>4</sub>	0,2879 <sub>0</sub>	0,2880	+0,02 <sub>8</sub>	+0,01 <sub>4</sub>
I-A-11	0,2872 <sub>7</sub>	0,2871 <sub>6</sub>	0,2872	+0,03 <sub>6</sub>	+0,01 <sub>4</sub>
I-A-12	0,2892 <sub>8</sub>	0,2891 <sub>2</sub>	0,2891	+0,03 <sub>6</sub>	-0,00 <sub>7</sub>
В среднем для английской группы . . .				+0,021 <sub>2</sub> <sup>3</sup>	+0,007 <sub>4</sub>
Среднее отклонение одной лампы английской группы . . .				±0,04 <sub>2</sub>	±0,03 <sub>0</sub>
			N. P. L. 1924 г.	Сила тока по измерениям L. C. E. 1924 г.	Разница в измерениях Ф. Л. Г. П. по отношению к данным 1927 г.; проц.
I-Ф-1	0,3724 <sub>4</sub>	0,3724 <sub>5</sub>	0,3722	0,372	-0,01 <sub>2</sub>
I-Ф-2	0,6332 <sub>1</sub>	0,6328 <sub>6</sub>	0,6328	0,633	+0,05 <sub>2</sub>
I-Ф-3	0,6368 <sub>4</sub>	0,6366 <sub>4</sub>	0,6369	0,636 <sub>5</sub>	+0,02 <sub>7</sub>
I-Ф-4	0,2915 <sub>4</sub>	0,2916 <sub>0</sub>	0,2916	0,291	-0,00 <sub>4</sub>
I-Ф-5	0,2920 <sub>7</sub>	0,2921 <sub>9</sub>	0,2921	0,292	-0,03 <sub>2</sub>
I-Ф-6	0,6947 <sub>0</sub>	0,6948 <sub>6</sub>	0,6943	0,694	-0,02 <sub>7</sub>
I-Г-1	0,2679 <sub>4</sub>	0,2678 <sub>1</sub>	0,2678	0,267 <sub>5</sub>	+0,04 <sub>5</sub>
I-Г-2	0,2675 <sub>6</sub>	0,2674 <sub>2</sub>	0,2675	0,267 <sub>5</sub>	+0,03 <sub>7</sub>
I-Г-3	0,4044 <sub>2</sub>	0,4044 <sub>7</sub>	0,4051	0,405	-0,00 <sub>5</sub>
I-Г-4	0,4055 <sub>2</sub>	0,4056 <sub>2</sub>	0,4055	0,404	-0,01 <sub>7</sub>
I-Г-5	0,6516 <sub>2</sub>	0,6514 <sub>1</sub>	0,6515	0,651 <sub>3</sub>	+0,03 <sub>2</sub>
I-Г-6	0,6523 <sub>2</sub>	0,6522 <sub>9</sub>	0,6523	0,652 <sub>5</sub>	+0,00 <sub>6</sub>
В среднем для французской группы . . .					+0,008 <sub>2</sub>
Среднее отклонение одной лампы во французской группе . . .					±0,02 <sub>5</sub>
В среднем для всего эталона . . .					+0,01 <sub>2</sub>
Среднее отклонение одной лампы в эталоне . . .					±0,03 <sub>0</sub>

В е д о м о с т ь  I V .  
С ветовые измерения основного светового эталона.

Обозначение лампы	Сила света; международные свечи			Различия; проенты	
	По измерениям			В измерениях N. P. L. и I. C. E. по отношению к данным Ф. Л. Г. П. 1927 г.	В измерениях Ф. Л. Г. П. 1925 г. по отношению к данным Ф. Л. Г. П. 1927 г.
	N. P. L.	Ф. Л. Г. П. 1925 г.	Ф. Л. Г. П. 1927 г.		
I—A—1 . . .	20,14	20,06	20,00	N. P. L. + 0,70 <sub>0</sub>	+ 0,30 <sub>0</sub>
I—A—2 . . .	19,84	19,84	19,83	+ 0,05 <sub>0</sub>	+ 0,05 <sub>0</sub>
I—A—3 . . .	20,64	20,54	20,68	- 0,19 <sub>2</sub>	- 0,67 <sub>7</sub>
I—A—4 . . .	20,18	20,08	20,05	+ 0,64 <sub>2</sub>	+ 0,15 <sub>0</sub>
I—A—5 . . .	20,20	20,00	20,08	+ 0,59 <sub>7</sub>	- 0,39 <sub>2</sub>
I—A—6 . . .	20,42	20,33	20,28	+ 0,69 <sub>0</sub>	+ 0,24 <sub>0</sub>
I—A—7 . . .	19,52	19,38	19,34	+ 0,93 <sub>7</sub>	+ 0,20 <sub>7</sub>
I—A—8 . . .	19,94	19,73	19,69	+ 1,26 <sub>0</sub>	+ 0,20 <sub>3</sub>
I—A—9 . . .	21,30	21,13	21,30	± 0,00	- 0,79 <sub>2</sub>
I—A—10 . . .	20,78	20,71	20,81	- 0,11 <sub>0</sub>	- 0,48 <sub>1</sub>
I—A—11 . . .	20,10	20,06	20,06	+ 0,19 <sub>0</sub>	± 0,00 <sub>0</sub>
I—A—12 . . .	20,44	20,34	20,31	+ 0,64 <sub>0</sub>	+ 0,14 <sub>2</sub>
Среднее арифметическое для английской группы: . . .				+ 0,45 <sub>2</sub>	- 0,08 <sub>2</sub>
I—Ф—1 . . .	9,85	10,09	10,02	I. C. E. - 1,69 <sub>0</sub>	+ 0,69 <sub>2</sub>
I—Ф—2 . . .	50	49,56	49,76	+ 0,48 <sub>2</sub>	- 0,40 <sub>3</sub>
I—Ф—3 . . .	50	49,20	48,94	+ 2,16 <sub>0</sub>	+ 0,53 <sub>0</sub>
I—Ф—4 . . .	19,5	19,74	19,63	- 0,66 <sub>2</sub>	+ 0,56 <sub>0</sub>
I—Ф—5 . . .	19,5	19,42	19,35	+ 0,77 <sub>0</sub>	+ 0,36 <sub>1</sub>
I—Ф—6 . . .	20,05	20,45	20,40	- 1,74 <sub>0</sub>	+ 0,24 <sub>0</sub>
I—Г—1 . . .	8,40	8,55	8,60	- 2,32 <sub>0</sub>	- 0,58 <sub>1</sub>
I—Г—2 . . .	8,40	8,44	8,40	± 0,00	+ 0,47 <sub>0</sub>
I—Г—3 . . .	17,0	16,97	17,02	- 0,11 <sub>2</sub>	- 0,29 <sub>2</sub>
I—Г—4 . . .	16,8	17,17	17,23	- 2,49 <sub>2</sub>	- 0,34 <sub>0</sub>
I—Г—5 . . .	25,6	25,44	25,60	± 0,00	- 0,63 <sub>0</sub>
I—Г—6 . . .	25,6	25,66	25,56	+ 0,15 <sub>6</sub>	+ 0,39 <sub>1</sub>
Среднее арифметическое для французской группы: . . .				- 0,45 <sub>0</sub>	+ 0,08 <sub>0</sub>
В среднем для одной лампы: . . .				± 0,35 <sub>2</sub>	

Ведомость V.

Ошибки измерений основного светового эталона; проценты.

Обозначение лампы	1-й наблюдатель		2-й наблюдатель		Ошибки				
					Для одного измерения			Для принятого знач. силы света	
	1-я лампа сравнения	2-я лампа сравнения	1-я лампа сравнения	2-я лампа сравнения	Средняя арифметическая	Средняя квадратичная	Вероятная	Средняя квадратичная	Вероятная
I-A-1	+0,09	+0,14	-0,31	+0,08	±0,16	±0,21	±0,14	±0,10	±0,07
I-A-2	+0,00	-0,05	-0,50	+0,55	±0,28	±0,43	±0,29	±0,22	±0,14
I-A-3	+0,04	-0,61	+0,10	+0,48	±0,30	±0,45	±0,30	±0,22	±0,15
I-A-4	-0,39	+0,21	+0,22	-0,04	±0,22	±0,29	±0,19	±0,14	±0,10
I-A-5	+0,03	+0,15	-0,38	-0,56	±0,28	±0,40	±0,27	±0,20	±0,14
I-A-6	-0,10	-0,33	+0,20	+0,23	±0,29	±0,27	±0,18	±0,14	±0,09
I-A-7	-0,24	+0,07	-0,01	+0,18	±0,12	±0,18	±0,12	±0,09	±0,06
I-A-8	+0,04	+0,05	+0,09	-0,17	±0,09	±0,13	±0,09	±0,06	±0,04
I-A-9	-0,01	-0,23	-0,57	+0,36	±0,29	±0,41	±0,27	±0,20	±0,14
I-A-10	-0,29	+0,57	-0,43	+0,15	±0,36	±0,45	±0,30	±0,22	±0,15
I-A-11	-0,98	+0,34	+0,40	+0,23	±0,49	±0,66	±0,44	±0,33	±0,22
I-A-12	-0,07	-0,37	-0,17	+0,61	±0,30	±0,43	±0,29	±0,22	±0,14
В среднем для одной лампы английской группы					±0,25 <sub>p</sub>	—	—	±0,18 <sub>p</sub>	±0,12 <sub>p</sub>
I-F-1	-0,88	-0,33	+0,81	+0,40	±0,60	±0,75	±0,50	±0,38	±0,25
I-F-2	+0,05	-0,82	-0,71	+0,07	±0,41	±0,63	±0,42	±0,39	±0,21
I-F-3	+0,38	-0,54	+0,22	-0,06	±0,30	±0,40	±0,27	±0,20	±0,14
I-F-4	+0,37	-0,61	+0,33	-0,09	±0,35	±0,45	±0,30	±0,22	±0,15
I-F-5	-0,03	+0,20	-0,16	-0,07	±0,12	±0,15	±0,10	±0,08	±0,05
I-F-6	+0,06	+0,22	+0,33	-0,61	±0,30	±0,42	±0,28	±0,21	±0,14
I-G-1	+0,51	-0,13	-0,52	-0,12	±0,32	±0,43	±0,29	±0,22	±0,14
I-G-2	-0,08	-0,07	+0,33	-0,17	±0,17	±0,23	±0,15	±0,12	±0,08
I-G-3	+0,38	+0,48	-0,63	-0,22	±0,43	±0,52	±0,35	±0,26	±0,18
I-G-4	+0,28	+0,19	-0,38	-0,08	±0,23	±0,30	±0,20	±0,15	±0,10
I-G-5	+0,13	-0,63	-0,30	-0,46	±0,38	±0,48	±0,32	±0,24	±0,16
I-G-6	+0,76	+0,11	-0,16	-0,71	±0,44	±0,61	±0,41	±0,30	±0,20
В среднем для одной лампы французской группы					±0,33 <sub>p</sub>	—	—	±0,22 <sub>p</sub>	±0,15 <sub>p</sub>

Как видно, световые измерения 1925 г. и 1927 г. для каждой лампы несколько не совпадают. В среднем отклонение составляет  $\pm 0,38\%$  или  $\pm 0,19\%$ , если за истинное значение силы света каждой лампы принимать среднее между измерениями 1925 г. и 1927 г. Точность воспроизведения русского значения международной

Ведомость VI.

Распределение ошибок измерений каждого наблюдателя по обоим лампам сравнения.

Пределы ошибок; проценты	Число ошибок
0,00 - 0,19	40
0,20 - 0,39	29
0,40 - 0,59	14
0,60 и выше	13

свечи одною лампою составляет  $\pm 0,2_2\%$  при вероятной ошибке в  $\pm 0,1_5\%$ ; точность же воспроизведения всеми 24-мя лампами составляет  $0,04_5\%$  при вероятной ошибке в  $0,03_0\%$ . Повидимому, точность измерений 1927 г. немногим ниже таковой 1925 г.<sup>1)</sup> Необходимо еще отметить, что разница русского значения международной свечи от английского и французского оказалась меньше в измерениях 1927 г., чем 1925 г., именно,  $\pm 0,4_5\%$  вместо прежних  $\pm 0,5_4\%$ , т.-е. на  $\pm 0,0_9\%$ . Эта разница лежит в пределах той точности, с которой известны для Ф. Л. Г. П. английское значение международной свечи:  $\pm 0,0_7\%$  и французское:  $\pm 0,1_4\%$ .

Таким образом, световые измерения, как и электрические, в общем, являются достаточно благоприятными для дела хранения основного светового эталона. (О точности световых измерений см. также приложение 2).

### Эталон — свидетель первый С — I.

Нижеследующие ведомости VII и VIII содержат данные об измерении силы тока и силы света ламп этого эталона.

Должно быть отмеченным, что, в общем, измерения силы тока ламп эталона — свидетеля первого вполне удовлетворительно совпадают с измерениями, произведенными в N. P. L. Лишь для лампы С — I — 12 разница доходит до  $+0,09_5\%$ , а для С — I — 14 — до  $+0,10_2\%$ .

Таким образом, на эти лампы должно быть обращено особое внимание при последующем сличении эталона — свидетеля первого. Что же касается световых измерений, то отклонения в измерениях Ф. Л. Г. П. и N. P. L. для отдельных ламп лежат в пределах точности измерений обоих лабораторий у всех ламп, кроме С — I — 11 и С — I — 14.

Разница между русским значением международной свечи и английским, если последнее взять по всем 15-ти лампам эталона — свидетеля первого, составит  $0,4_0\%$ , а по английской группе основного эталона разница составила, если взять измерения 1927 г.,  $-0,4_2\%$ . Разность между двумя этими цифрами составляет всего лишь  $0,0_4\%$  или  $\pm 0,0_2\%$ , что следует признать весьма удовлетворительным результатом.

Точность воспроизведения английской единицы силы света фотометрической лабораторией Главной Палаты мер и весов определена, исходя из того, что по английским сертификатам ошибка для каждой лампы равна  $\pm 0,25_0\%$ , а среднее квадратичное отклонение в измерениях фотометрической лаборатории Главной Палаты мер и весов и National Physical Laboratory для силы света каждой лампы

<sup>1)</sup> Одну причину к тому можно видеть в следующем неблагоприятном обстоятельстве чисто случайного характера. Одному из наблюдателей приходилось время от времени отлучаться из измерительной комнаты в другую, где имелось дневное освещение. После каждой отлучки, сопровождавшейся изменением адаптации, наблюдатель производил световые измерения с повышенной точностью.

Кроме того, в 1925 г. 13 ламп измерялись дважды, что, конечно, увеличивало точность.



(в английских единицах) оказалось равным  $0,3_{63}^{0/0}$  <sup>1)</sup>). Средняя квадратичная ошибка воспроизведения английской единицы силы света всеми 15-ю лампами составляет, таким образом:

$$\pm \sqrt{\frac{0,25^2}{15} + \frac{0,3_{63}^2}{15}} = \pm 0,1_1^{0/0}.$$

а вероятная ошибка  $\pm 0,0_7^{0/0}$ .

## Ведомость VII.

Сила тока ламп эталона—свидетеля С-1.

Обозначение лампы	Сила тока; амперы		Разница в измерениях Ф. Д. Г. П. и N. P. L. по отношению к данным Ф. Д. Г. П.; проценты
	По измерениям		
	Ф. Д. Г. П.	N. P. L.	
С-1-1 . . .	0,4625 <sub>7</sub>	0,4626	+ 0,00 <sub>0</sub>
С-1-2 . . .	0,4647 <sub>4</sub>	0,4648	+ 0,01 <sub>2</sub>
С-1-3 . . .	0,4632 <sub>1</sub>	0,4631	- 0,03 <sub>0</sub>
С-1-4 . . .	0,4628 <sub>1</sub>	0,4628	- 0,00 <sub>2</sub>
С-1-5 . . .	0,4687 <sub>8</sub>	0,4690	+ 0,04 <sub>7</sub>
С-1-6 . . .	0,4606 <sub>8</sub>	0,4610	+ 0,06 <sub>9</sub>
С-1-7 . . .	0,4611 <sub>0</sub>	0,4611	± 0,00 <sub>5</sub>
С-1-8 . . .	0,4628 <sub>3</sub>	0,4628	- 0,01 <sub>1</sub>
С-1-9 . . .	0,4622 <sub>3</sub>	0,4624	+ 0,03 <sub>2</sub>
С-1-10 . . .	0,4605 <sub>6</sub>	0,4607	+ 0,03 <sub>0</sub>
С-1-11 . . .	0,4608 <sub>5</sub>	0,4609	+ 0,01 <sub>1</sub>
С-1-12 . . .	0,4609 <sub>6</sub>	0,4614	+ 0,09 <sub>5</sub>
С-1-13 . . .	0,4709 <sub>9</sub>	0,4711	+ 0,02 <sub>1</sub>
С-1-14 . . .	0,4600 <sub>3</sub>	0,4605	+ 0,10 <sub>3</sub>
С-1-15 . . .	0,4628 <sub>6</sub>	0,4630	+ 0,03 <sub>0</sub>
В среднем для всех ламп . . . . .			+ 0,02 <sub>3</sub>
Средняя для одной лампы . . . . .			± 0,03 <sub>3</sub>

<sup>1)</sup> Подробности вычислений не показаны. Способ их—см. Временник № 2, 1928, стр. 168—170 и 176.

Ведомость VIII-а.  
Сила света ламп эталона—свидетеля С-1.

Обозначение лампы	Сила света; международные свечи		Разница в измерениях Ф. Л. Г. П. и Н. Р. Л. по отношению к данным Ф. Л. Г. П.; проценты
	По измерениям		
	Н. Р. Л. 1927 г.	Ф. Л. Г. П. 1927 г.	
С-1-1 . . . . .	34,50	34,41	+ 0,26 <sub>2</sub>
С-1-2 . . . . .	35,00	34,86	+ 0,40 <sub>2</sub>
С-1-3 . . . . .	34,60	34,61	- 0,02 <sub>9</sub>
С-1-4 . . . . .	34,85	34,21	+ 0,40 <sub>2</sub>
С-1-5 . . . . .	36,25	36,20	+ 0,13 <sub>8</sub>
С-1-6 . . . . .	33,95	33,80	+ 0,44 <sub>4</sub>
С-1-7 . . . . .	34,10	34,01	+ 0,26 <sub>8</sub>
С-1-8 . . . . .	34,90	34,84	+ 0,40 <sub>2</sub>
С-1-9 . . . . .	34,35	34,33	+ 0,05 <sub>8</sub>
С-1-10 . . . . .	33,80	33,53	+ 0,80 <sub>5</sub>
С-1-11 . . . . .	33,75	33,37	+ 1,13 <sub>9</sub>
С-1-12 . . . . .	33,55	33,22	+ 0,99 <sub>9</sub>
С-1-13 . . . . .	35,95	35,86	+ 0,25 <sub>1</sub>
С-1-14 . . . . .	33,60	33,17	+ 1,29 <sub>6</sub>
С-1-15 . . . . .	34,35	34,16	+ 0,55 <sub>6</sub>
В среднем по всем лампам . . . . .			+ 0,49 <sub>8</sub>

Ведомость VIII-б.

Распределение ошибок измерений  
каждого наблюдателя по каждой  
лампе сравнения.

Пределы ошибок; проценты	Число ошибок
0,00 + 0,19	35
0,20 + 0,39	17
0,40 + 0,59	23
0,60 и выше	5

## Эталон—свидетель второй С—II.

Ведомости IX и X представляют результаты измерений силы тока и силы света ламп эталона—свидетеля второго.

## Ведомость IX.

## Сила тока ламп эталона—свидетеля С—II.

Обозначение ламп	Сила тока; амперы		Разница в измерениях Ф. Л. Г. П. и В. S. по отношению к данным Ф. Л. Г. П.; про- центы	Примечание
	По измерениям			
	Ф. Л. Г. П.	В. S.		
С—II—1	0,3639 <sub>5</sub>	0,364	+ 0,01 <sub>4</sub>	Вольфрамо- вые лампы
С—II—2	0,3655 <sub>7</sub>	0,365	— 0,15 <sub>0</sub>	
С—II—3	0,3467 <sub>3</sub>	0,346	— 0,21 <sub>3</sub>	
С—II—4	0,3471 <sub>7</sub>	0,347	— 0,04 <sub>9</sub>	
С—II—5	0,3462 <sub>1</sub>	0,346	— 0,06 <sub>1</sub>	
С—II—6	0,3468 <sub>4</sub>	0,346	— 0,24 <sub>2</sub>	
С—II—7	0,5880 <sub>0</sub>	0,588	— 0,06 <sub>0</sub>	Угольные лампы
С—II—8	0,5985 <sub>4</sub>	0,598	— 0,06 <sub>0</sub>	
С—II—9	0,5954 <sub>0</sub>	0,595	— 0,06 <sub>7</sub>	
С—II—10	0,5943 <sub>0</sub>	0,594	— 0,05 <sub>3</sub>	
С—II—11	0,5920 <sub>0</sub>	0,592	— 0,01 <sub>3</sub>	
С—II—12	0,5953 <sub>4</sub>	0,595	— 0,05 <sub>7</sub>	
В среднем для всех ламп . . . . .			— 0,08 <sub>5</sub>	
Средняя для одной лампы . . . . .			± 0,09 <sub>0</sub>	

Разница в измерениях силы света ламп этого эталона в Ф. Л. Г. П., и В. S. несколько больше, чем для эталона—свидетеля первого. Она по размерам приближается к разнице в измерениях Ф. Л. Г. П. и I. C. E. для французской группы основного эталона. Приходится поэтому считать, что для установления более достоверного соотношения между русским и американским значениями международной свечи необходимо применить иные лампы для повторного сличения эталонов международной свечи Ф. Л. Г. П. и В. S. Имеющиеся лампы имеют ту особенность, что определение направления, в котором следует измерять силу света, может быть произведено с недостаточной точностью. Кроме того, у угольных ламп не вполне ясно выявлена плоскость, от которой ведется отчет расстояний. Конечно, двух наблюдателей далеко недостаточно для сличения угольных ламп с металлическими. Из ведомости X видно, что американское значение международ-

Ведомость X-a.  
Сила света лампы эталона—свидетеля С-П.

Обозначение лампы	Сила света; международные свечи		Разница в измерениях Ф. Л. Г. П. и В. С. по отношению к данным Ф. Л. Г. П.; проценты	Примечание
	По измерениям			
	В. С. 1926 г.	Ф. Л. Г. П. 1927 г.		
С-П—1 . . . . .	38,4	38,65	- 0,64 <sub>7</sub>	Вольфрамовые лампы
С-П—2 . . . . .	39,9	40,47	- 1,48 <sub>1</sub>	
С-П—3 . . . . .	39,3	38,81	+ 1,28 <sub>9</sub>	
С-П—4 . . . . .	39,9	40,29	- 0,99 <sub>2</sub>	
С-П—5 . . . . .	38,4	38,61	- 0,51 <sub>8</sub>	
С-П—6 . . . . .	39,8	39,18	+ 1,53 <sub>1</sub>	
Средняя для ламп с С-П—1 по С-П—6 . . . . .			- 0,13 <sub>6</sub>	
С-П—7 . . . . .	16,3	16,29	0,0	Угольные лампы
С-П—8 . . . . .	16,6	16,50	+ 0,60 <sub>8</sub>	
С-П—9 . . . . .	16,4	16,28	+ 0,61 <sub>4</sub>	
С-П—10 . . . . .	16,1	15,92	+ 1,25 <sub>8</sub>	
С-П—11 . . . . .	16,5	16,49	0,0	
С-П—12 . . . . .	17,3	17,09	+ 1,17 <sub>0</sub>	
Средняя для ламп с С-П—7 по С-П—12 . . . . .			+ 0,63 <sub>8</sub>	
В среднем для всех ламп . . . . .			+ 0,23 <sub>8</sub>	

## Ведомость X-б.

Распределение ошибок измерений каждого наблюдателя по каждой лампе сравнения.

Пределы ошибок; проценты	Число ошибок
0,00 — 0,19	7
0,20 — 0,39	6
0,40 — 0,59	9
0,60 и выше	30

сертификатов имеют точность  $\pm 0,5\%$ . Средняя квадратичная ошибка воспроизведения по шести вольфрамовым лампам составляет  $\pm 0,5\%$ , и вероятна  $\pm 0,3\%$ , а по шести угольным — соответственно  $\pm 0,3\%$  и  $\pm 0,2\%$ .

ной свечи, воспроизводимое шестью вольфрамовыми лампами, отличается от русского на  $+ 0,1\%$ , тогда как воспроизводимое угольными — на  $- 0,6\%$ ; в среднем же отличие составляет  $- 0,2\%$ .

Точность воспроизведения американского значения международной свечи определена (см. выше, стр. 154) в предположении, что данные американских



**Русское, английское, французское и американское значения международной свечи.**

В условиях измерений фотометрической лаборатории Главной Палаты мер и весов и с теми эталонными лампами, которыми она располагает, соотношения между русским, английским, французским и американским значениями международной свечи найдены такими:

**Ведомость XI-а.**

**Соотношение значений международной свечи по измерениям фотометрической лаборатории Главной Палаты мер и весов.**

	По основному эталону, 1925 г.	По основному эталону, 1927 г.	По эталону-свидетелю С—I (с 1 по 10), 1927 г.	По металлическим лампам эталона — свидетеля С—II (с 1 по 6), 1927 г.	По угольным лампам эталона — свидетеля С—II (с 7 по 12), 1927 г.
Русское значение международной свечи	1,000 <sub>0</sub>	1,000 <sub>0</sub>	1,000 <sub>0</sub>	1,000 <sub>0</sub>	1,000 <sub>0</sub>
Английское значение международной свечи	0,994 <sub>0</sub>	0,995 <sub>5</sub>	0,995 <sub>1</sub>	—	—
Французское " " "	1,005 <sub>4</sub>	1,004 <sub>6</sub>	—	—	—
Американское " " "	—	—	—	1,001 <sub>4</sub> <sup>1)</sup>	0,993 <sub>0</sub> <sup>1)</sup>
				0,997 <sub>6</sub> <sup>1)</sup>	

Для сопоставления позволительно привести следующие данные (см. ведомость XI) о межлабораторных сравнениях международной свечи N. P. L., L. C. E. и B. S., которые имели место в предыдущие годы; цитируется по докладу W. Barnett<sup>2)</sup>.

**Ведомость XI-б.**

**Международные сравнения 1906—1926 г.г. при помощи электрических ламп накаливания. (Отношения единиц).**

Год сравнения	Сравнение при помощи угольных ламп с удельным потреблением 4 ватта на горизонтальную свечу					Сравнение при помощи вольфрамовых ламп с удельным потреблением 1,5 ватта на горизонтальную свечу	
	1	2	3	4	5	6	7
1906							
1908							
1909							
1912—1913							
1924—1926							
1912—1913							
1924—1926							
B.S./N.P.L.	1,0166	1,0157	1,0000 <sup>*</sup> )	—	0,9997	1,0033	1,0045
L.C.E./N.P.L.	0,9979	1,0081	1,0000 <sup>*</sup> )	1,0067	1,0029	1,0018	—
P.T.R.**/N.P.L.	0,8935	0,8961	0,9000 <sup>*</sup> )	0,8986	—	0,9001	—

<sup>\*</sup>) Условно принятое отношение.

<sup>\*\*</sup>) Physikalisch-Technische Reichsanstalt.

<sup>1)</sup> Этим значениям придается меньшая достоверность.

<sup>2)</sup> W. Barnett. Some Notes on Electric Incandescence Lamps for Use as Sub-Standards in Photometric Laboratories, and the Maintenance of the Unit of Candle-Power by Means of Such Lamps (Proc. of the Optical Convention 1926; Part 1, стр. 277 — 280, дис. 266 — 288).

Ведомость XI показывает, что русское значение международной свечи отличается от такового N. P. L., L. C. E. и V. S. на величину, лежащую в пределах той точности, с которой в настоящее время известна международная свеча.

### Вторичный эталон П-2.

Ведомости XII, XIII и XIV содержат данные с результатами измерений вторичного эталона. В среднем каждая лампа вторичного эталона воспроизводит русское значение международной свечи с точностью  $\pm 0,1\%$  при вероятной ошибке  $\pm 0,12\%$ ; все же лампы воспроизводят его с точностью  $\pm 0,06\%$  при вероятной ошибке  $\pm 0,04\%$ .

### Ведомость XII.

#### Сила тока ламп вторичного эталона П-2

Обозначение лампы	Сила тока; амперы	
		Среднее из двух измерений
П-2-1 . . . . .	0,42474	} 0,42484
П-2-1 *) . . . . .	0,42494	
П-2-2 . . . . .	0,41857	} 0,41854
П-2-2 *) . . . . .	0,41850	
П-2-3 . . . . .	0,42538	} 0,42537
П-2-3 *) . . . . .	0,42536	
П-2-4 . . . . .	0,42134	} 0,42134
П-2-4 *) . . . . .	0,42122	
П-2-4 *) . . . . .	0,42147	} 0,41733
П-2-5 . . . . .	0,41724	
П-2-5 *) . . . . .	0,41742	} 0,42508
П-2-6 . . . . .	0,42641	
П-2-7 . . . . .	0,42363	} 0,42508
П-2-8 . . . . .	0,42528	
П-2-9 . . . . .	0,42147	} 0,42508
П-2-10 . . . . .	0,42504	
П-2-10 *) . . . . .	0,42513	} 0,42018
П-2-11 . . . . .	0,42362	
П-2-12 . . . . .	0,42296	} 0,42018
П-2-13 . . . . .	0,42203	
П-2-14 . . . . .	0,42287	} 0,42018
П-2-15 . . . . .	0,42014	
П-2-15 *) . . . . .	0,42022	

\*) Повторное измерение.

Ведомость XIII.

Сила света ламп вторичного эталона П-2.

Обозначение ламп	Сила света; международные свечи					
	По измерениям 1-го наблюдателя		По измерениям 2-го наблюдателя		Средняя	Средняя
	По 1-й лам- пе сравнен.	По 2-й лам- пе сравнен.	По 1-й лам- пе сравнен.	По 2-й лам- пе сравнен.		
П-2-1 . . . . .	37,1 <sub>13</sub>	36,9 <sub>07</sub>	36,6 <sub>33</sub>	36,7 <sub>78</sub>	36,8 <sub>78</sub>	} 36,85
П-2-1*) . . . . .	36,9 <sub>33</sub>	36,9 <sub>20</sub>	36,6 <sub>76</sub>	36,6 <sub>94</sub>	36,8 <sub>33</sub>	
П-2-2 . . . . .	35,1 <sub>73</sub>	35,1 <sub>22</sub>	35,2 <sub>20</sub>	35,1 <sub>56</sub>	35,1 <sub>80</sub>	} 35,25
П-2-2*) . . . . .	35,3 <sub>33</sub>	35,4 <sub>20</sub>	35,2 <sub>05</sub>	35,2 <sub>96</sub>	35,3 <sub>29</sub>	
П-2-3 . . . . .	36,5 <sub>79</sub>	36,5 <sub>21</sub>	36,5 <sub>31</sub>	36,5 <sub>95</sub>	36,5 <sub>48</sub>	} 36,56
П-2-3*) . . . . .	36,4 <sub>48</sub>	36,3 <sub>80</sub>	36,5 <sub>91</sub>	36,8 <sub>14</sub>	36,5 <sub>66</sub>	
П-2-4 . . . . .	35,7 <sub>21</sub>	35,5 <sub>82</sub>	35,7 <sub>61</sub>	35,6 <sub>29</sub>	35,6 <sub>61</sub>	} 35,72
П-2-4*) . . . . .	35,8 <sub>21</sub>	35,8 <sub>61</sub>	35,7 <sub>88</sub>	35,4 <sub>53</sub>	35,7 <sub>40</sub>	
П-2-4*) . . . . .	35,9 <sub>07</sub>	35,7 <sub>78</sub>	35,5 <sub>99</sub>	35,6 <sub>45</sub>	35,7 <sub>02</sub>	} 35,04
П-2-5 . . . . .	34,8 <sub>97</sub>	35,1 <sub>33</sub>	35,0 <sub>68</sub>	34,8 <sub>03</sub>	34,9 <sub>47</sub>	
П-2-5*) . . . . .	35,1 <sub>86</sub>	35,2 <sub>90</sub>	35,0 <sub>30</sub>	34,9 <sub>20</sub>	35,1 <sub>27</sub>	
П-2-6 . . . . .	36,5 <sub>32</sub>	36,8 <sub>14</sub>	36,8 <sub>06</sub>	36,9 <sub>21</sub>	36,77	} 36,81
П-2-7 . . . . .	36,5 <sub>36</sub>	36,5 <sub>21</sub>	36,5 <sub>99</sub>	36,3 <sub>12</sub>	36,52	
П-2-8 . . . . .	36,6 <sub>10</sub>	36,5 <sub>37</sub>	36,4 <sub>50</sub>	36,5 <sub>26</sub>	36,53	} 36,81
П-2-9 . . . . .	36,8 <sub>12</sub>	36,9 <sub>50</sub>	36,8 <sub>61</sub>	36,7 <sub>15</sub>	36,83	
П-2-10 . . . . .	36,6 <sub>20</sub>	36,6 <sub>38</sub>	36,8 <sub>23</sub>	36,8 <sub>55</sub>	36,7 <sub>39</sub>	} 36,81
П-2-10*) . . . . .	36,9 <sub>70</sub>	36,8 <sub>51</sub>	36,8 <sub>71</sub>	36,8 <sub>92</sub>	36,8 <sub>90</sub>	
П-2-11 . . . . .	36,2 <sub>54</sub>	36,0 <sub>82</sub>	36,0 <sub>35</sub>	36,0 <sub>22</sub>	36,10	} 35,95
П-2-12 . . . . .	36,9 <sub>54</sub>	36,9 <sub>39</sub>	36,6 <sub>90</sub>	36,3 <sub>71</sub>	36,74	
П-2-13 . . . . .	35,6 <sub>98</sub>	35,4 <sub>24</sub>	35,3 <sub>02</sub>	35,6 <sub>22</sub>	35,53	} 35,95
П-2-14 . . . . .	34,4 <sub>86</sub>	34,7 <sub>22</sub>	34,6 <sub>84</sub>	34,6 <sub>54</sub>	34,63	
П-2-15 . . . . .	35,8 <sub>07</sub>	35,9 <sub>85</sub>	36,0 <sub>49</sub>	35,9 <sub>00</sub>	35,9 <sub>25</sub>	} 35,95
П-2-15*) . . . . .	36,0 <sub>30</sub>	35,9 <sub>48</sub>	35,8 <sub>72</sub>	35,9 <sub>61</sub>	35,9 <sub>72</sub>	

\*) Повторные измерения.

„Брошюры“ № 3.

Ведомость XIV-а.  
Ошибки измерений вторичного эталона; проценты.

Обозначение лампы	Первое измерение лампы						Повторное измерение лампы						О ш и б к и							
	1-я наблю- датель			2-я наблю- датель			1-й наблюдатель		2-й наблюдатель		По 1-й лам.		По 2-й лам.		Средняя арифмети- ческая	Средняя квадра- тная	Вероятная	Средняя квадра- тная	Для принятого знач. силы света	Вероятная
	по сравнению	по 2-й лам.	по сравнению	по 1-й лам.	по сравнению	по 2-й лам.	по сравнению	по 2-й лам.	по сравнению	по 1-й лам.	по сравнению	по 2-й лам.	по сравнению	по 1-й лам.						
	по 1-й лам.	по сравнению	по 2-й лам.	по сравнению	по 1-й лам.	по сравнению	по 2-й лам.	по сравнению	по 1-й лам.	по сравнению	по 2-й лам.	по сравнению	по 1-й лам.	по сравнению						
П-2-1	+ 0,71	+ 0,32	- 0,54	- 0,20	+ 0,36	+ 0,24	- 0,47	- 0,42	- 0,41	+ 0,48	+ 0,32	+ 0,17	+ 0,11							
П-2-2	+ 0,23	- 0,23	- 0,10	- 0,28	+ 0,22	+ 0,47	+ 0,03	- 0,12	+ 0,21	+ 0,26	+ 0,17	+ 0,09	+ 0,06							
П-2-3	+ 0,04	- 0,05	- 0,02	- 0,00	- 0,25	+ 0,47	+ 0,11	+ 0,70	+ 0,21	+ 0,34	+ 0,23	+ 0,12	+ 0,08							
П-2-4	+ 0,04	- 0,08	- 0,18	- 0,25	+ 0,32	+ 0,47	+ 0,19	+ 0,74	+ 0,32	+ 0,38	+ 0,25	+ 0,13	+ 0,09							
П-2-5	- 0,57	+ 0,30	- 0,10	- 0,66	+ 0,42	+ 0,75	- 0,33*)	- 0,20*)	+ 0,41	+ 0,49	+ 0,33	+ 0,17	+ 0,11							
П-2-6	+ 0,62	+ 0,12	- 0,08	+ 0,41	- 0,42	- 0,75	+ 0,16	- 0,30	+ 0,31	+ 0,44	+ 0,29	+ 0,22	+ 0,15							
П-2-7	+ 0,21	- 0,17	- 0,20	- 0,57	- 0,25	- 0,47	- 0,11	- 0,30	+ 0,29	+ 0,38	+ 0,25	+ 0,19	+ 0,13							
П-2-8	+ 0,22	- 0,01	- 0,20	- 0,01	- 0,25	- 0,47	- 0,11	- 0,30	+ 0,11	+ 0,17	+ 0,11	+ 0,08	+ 0,06							
П-2-9	+ 0,06	+ 0,32	- 0,07	- 0,32	+ 0,42	+ 0,10	+ 0,15	+ 0,15	+ 0,19	+ 0,27	+ 0,18	+ 0,14	+ 0,09							
П-2-10	+ 0,53	- 0,48	- 0,08	+ 0,11	- 0,42	+ 0,10	+ 0,15	+ 0,15	+ 0,25	+ 0,33	+ 0,22	+ 0,12	+ 0,08							
П-2-11	+ 0,44	- 0,10	- 0,16	- 0,18	- 0,42	- 0,10	- 0,15	- 0,15	+ 0,22	+ 0,29	+ 0,19	+ 0,14	+ 0,10							
П-2-12	+ 0,58	+ 0,52	- 0,11	- 0,99	- 0,42	- 0,10	- 0,15	- 0,15	+ 0,55	+ 0,75	+ 0,50	+ 0,38	+ 0,25							
П-2-13	+ 0,46	- 0,31	- 0,40	- 0,25	- 0,42	- 0,10	- 0,15	- 0,15	+ 0,36	+ 0,42	+ 0,28	+ 0,21	+ 0,14							
П-2-14	- 0,42	+ 0,26	+ 0,09	+ 0,06	+ 0,37	- 0,02	- 0,22	+ 0,08	+ 0,21	+ 0,29	+ 0,19	+ 0,14	+ 0,10							
П-2-15	+ 0,41	+ 0,09	- 0,26	- 0,15	+ 0,37	- 0,02	- 0,22	+ 0,08	+ 0,20	+ 0,26	+ 0,17	+ 0,09	+ 0,06							

В среднем для одной лампы . . . ± 0,28<sub>3</sub>

± 0,15, ± 0,10,

\*) Третье измерение.



## Ведомость XIV-б.

Распределение ошибок измерений каждого наблюдателя по каждой лампе сравнения.

Пределы ошибок; проценты	Число ошибок
0,00 — 0,19	36
0,20 — 0,39	28
0,40 — 0,59	21
0,60 и выше	7

## Приложение 1.

## Учет изменения силы света ламп сравнения.

Пусть освещенность на экране фотометра от лампы сравнения изменяется с течением времени  $t$  по закону прямой, т.е. пропорционально выражению:  $(1 + kt)$ . Если лампа силы света  $I_i$  при первом измерении в момент  $t'_i$  находилась на расстоянии  $r_{i,1}$ , а при повторном измерении во время  $t''_i$  на расстоянии  $r_{i,2}$ , то, относя освещенность на экране фотометра к начальному времени, имеем:

$$\frac{I_i}{r_{i,1}^2} (1 + kt'_i) = \frac{I_i}{r_{i,2}^2} (1 + kt''_i).$$

Так как для более точного определения коэффициента  $k$  было применено 10 ламп, то его значение вычисляется так:

$$k = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{i=10} \frac{r_{i,1}^2 - r_{i,2}^2}{t''_i r_{i,2}^2 - t'_i r_{i,1}^2} \quad \text{или} \quad k = \frac{\sum_{i=1}^{i=10} r_{i,1}^2 - \sum_{i=1}^{i=10} r_{i,2}^2}{\sum_{i=1}^{i=10} t''_i r_{i,2}^2 - \sum_{i=1}^{i=10} t'_i r_{i,1}^2}$$

## Приложение 2.

## Об устойчивости свойств глаза.

По примеру работы 1925 г. в настоящей работе также была прослежена устойчивость свойств глаза. Она определялась по разностям в измерениях: 1) одного наблюдателя по 1-й и по 2-й лампам сравнения и 2) двух наблюдателей между собой.

Нижеследующие ведомости XV, XVI, XVII и XVIII показывают эти разности.

Как видно, если не говорить об эталоне-свидетеле втором С—II, разность в измерениях двух наблюдателей для одной лампы составляет около  $\pm 0,20$ .

## Ведомость XV.

Устойчивость световых измерений помощью  
глаза для ламп основного эталона.

Обозначение лампы	Разница в измерениях по 1-й и 2-й лампам сравнения; про- центы		Разница в изме- рениях 1-го и 2-го наблюдате- лей по отноше- нию к среднему; знак указан для 1-го наблюдателя
	Для 1-го наблюдателя	Для 2-го наблюдателя	
I-A-1 . . . . .	+ 0,02	+ 0,20	+ 0,12
I-A-2 . . . . .	- 0,03	+ 0,52	- 0,02
I-A-3 . . . . .	- 0,32	+ 0,19	- 0,29
I-A-4 . . . . .	+ 0,30	- 0,13	- 0,09
I-A-5 . . . . .	+ 0,06	- 0,47	+ 0,09
I-A-6 . . . . .	- 0,12	+ 0,02	- 0,22
I-A-7 . . . . .	+ 0,16	+ 0,10	- 0,08
I-A-8 . . . . .	± 0,00	- 0,13	+ 0,04
I-A-9 . . . . .	+ 0,12	+ 0,46	+ 0,11
I-A-10 . . . . .	+ 0,43	+ 0,29	+ 0,14
I-A-11 . . . . .	+ 0,66	- 0,08	- 0,32
I-A-12 . . . . .	- 0,15	+ 0,39	- 0,22
I-Ф-1 . . . . .	+ 0,28	- 0,20	- 0,60
I-Ф-2 . . . . .	- 0,44	- 0,32	- 0,38
I-Ф-3 . . . . .	- 0,46	- 0,14	- 0,08
I-Ф-4 . . . . .	- 0,49	- 0,21	- 0,12
I-Ф-5 . . . . .	+ 0,08	+ 0,04	+ 0,12
I-Ф-6 . . . . .	+ 0,08	- 0,47	+ 0,14
I-Г-1 . . . . .	- 0,19	+ 0,20	+ 0,32
I-Г-2 . . . . .	± 0,00	- 0,25	- 0,08
I-Г-3 . . . . .	+ 0,05	+ 0,20	+ 0,43
I-Г-4 . . . . .	- 0,04	+ 0,15	+ 0,23
I-Г-5 . . . . .	+ 0,25	- 0,08	+ 0,38
I-Г-6 . . . . .	- 0,28	- 0,28	+ 0,44
В среднем для одного наблюдателя . . . . .	± 0,20 <sub>2</sub>	± 0,23 <sub>0</sub>	± 0,21 <sub>0</sub>
Влияние на конечный результат	- 0,00 <sub>2</sub>	+ 0,00 <sub>00</sub>	+ 0,00 <sub>25</sub>

## Ведомость XVI.

Устойчивость световых измерений помощью  
глаза для ламп эталона свидетеля С-I.

Обозначение лампы	Разница в измерениях по 1-й и 2-й лампам сравнения; про- центы		Разница в измерениях 1-го и 2-го наблюдателей по отношению к среднему; знак условен для 1-го наблюдателя
	Для 1-го наблю- дателя	Для 2-го наблю- дателя	
С-I-1 . . . . .	+0,21	-0,26	+0,10
С-I-1 . . . . .	+0,10	-0,39	+0,21
С-I-2 . . . . .	+0,08	-0,08	+0,08
С-I-2 . . . . .	-0,02	-0,13	+0,15
С-I-3 . . . . .	+0,12	-0,20	+0,34
С-I-3 . . . . .	+0,13	-0,56	+0,01
С-I-4 . . . . .	+0,12	-0,10	+0,27
С-I-4 . . . . .	+0,32	-0,14	-0,18
С-I-5 . . . . .	-0,16	-0,19	-0,29
С-I-5 . . . . .	-0,18	-0,40	+0,03
С-I-6 . . . . .	+0,50	+0,75	-0,02
С-I-7 . . . . .	+0,42	+0,04	-0,03
С-I-8 . . . . .	+0,02	+0,02	+0,50
С-I-9 . . . . .	-0,09	-0,47	+0,07
С-I-10 . . . . .	-0,13	-0,31	+0,07
С-I-11 . . . . .	-0,03	-0,08	-0,08
С-I-12 . . . . .	+0,27	-0,24	+0,18
С-I-13 . . . . .	-0,17	-0,53	-0,01
С-I-14 . . . . .	+0,34	+0,02	+0,06
С-I-15 . . . . .	+0,20	+0,15	+0,02
В среднем для одного наблю- дателя . . . . .	$\pm 0,18_0$	$\pm 0,25_3$	$\pm 0,13_5$
Влияние на конечный результат	+0,10 <sub>3</sub>	-0,15 <sub>5</sub>	+0,07 <sub>4</sub>

## Ведомость XVII.

Устойчивость световых измерений помощью глаза для ламп  
эталона-свидетеля С—II.

Обозначение лампы	Разница в измерениях по 1-й и 2-й лампам сравне- ния; проценты		Разница в измере- ниях 1-го и 2-го наблюдателей по отношению к сред- нему; знак указан для первого наблю- дателя; проценты	Примечание
	Для 1-го на- блюдателя	Для 2-го на- блюдателя		
С—II—1 . . . . .	- 0,22	- 0,34	+ 0,40	Вольфрамовые лампы
2 . . . . .	- 0,33	- 0,06	+ 0,09	
3 . . . . .	+ 0,02	+ 0,20	+ 0,62	
4 . . . . .	- 0,40	- 0,13	+ 0,37	
5 . . . . .	- 0,29	- 0,43	+ 0,61	
6 . . . . .	- 0,16	- 0,16	+ 0,84	
6 . . . . .	- 0,06	+ 0,02	+ 0,56	
В среднем для одно- го наблюдателя по лампам с 1 по 6.	$\pm 0,21$	$\pm 0,19$	+ 0,47	
Влияние на конеч- ный результат .	- 0,21	- 0,13	+ 0,47	
С—II—7 . . . . .	- 0,68	+ 0,98	- 1,28	Угольные лампы
8 . . . . .	+ 1,15	+ 0,66	- 0,68	
9 . . . . .	+ 0,54	+ 0,66	- 1,13	
10 . . . . .	+ 0,44	$\pm 0,00$	- 1,02	
11 . . . . .	- 0,09	+ 0,27	- 1,39	
12 . . . . .	+ 0,88	+ 0,12	- 1,38	
В среднем для одно- го наблюдателя по лампам с 7 по 12.	$\pm 0,63$	+ 0,45	- 1,14	
Влияние на конеч- ный результат .	+ 0,37	+ 0,45	- 1,14	
В среднем для одно- го наблюдателя по лампам с 1 по 12 .	$\pm 0,42$	$\pm 0,31$	$\pm 0,78$	
Влияние на конеч- ный результат .	+ 0,06	+ 0,13	- 0,28	



## Ведомость XVIII.

Устойчивость измерений помощью глаза для ламп вторичного эталона П-2.

Обозначение лампы	Разница в измерениях по 1-й и 2-й лампам сравнения; проценты		Разница в измерениях 1-го и 2-го наблюдателей по отношению к среднему; знак указан для 1-го наблюдателя; проценты.	
	Для 1-го наблюдателя	Для 2-го наблюдателя	Однократное измерение	Двукратное измерение
П-2-1 . . . . .	- 0,20	+ 0,17	+ 0,44	} + 0,405
1 . . . . .	- 0,06	+ 0,02	+ 0,37	
2 . . . . .	± 0,00	- 0,09	- 0,02	} + 0,06
2 . . . . .	+ 0,12	+ 0,04	+ 0,14	
3 . . . . .	- 0,04	- 0,02	+ 0,02	} - 0,18
3 . . . . .	- 0,11	+ 0,30	- 0,38	
4 . . . . .	- 0,21	- 0,22	- 0,07	} + 0,18
4 . . . . .	+ 0,08	- 0,46	+ 0,32	
4 . . . . .	- 0,18	+ 0,06	+ 0,30	} + 0,22
5 . . . . .	+ 0,44	- 0,28	+ 0,12	
5 . . . . .	+ 0,16	- 0,23	+ 0,32	} - 0,125
6 . . . . .	+ 0,37	+ 0,16	- 0,25	
7 . . . . .	- 0,02	- 0,38	+ 0,19	} + 0,005
8 . . . . .	- 0,12	+ 0,10	+ 0,10	
9 . . . . .	+ 0,19	- 0,20	+ 0,13	} - 0,125
10 . . . . .	- 0,02	+ 0,02	- 0,30	
10 . . . . .	- 0,16	± 0,00	+ 0,05	} + 0,005
11 . . . . .	- 0,27	- 0,01	+ 0,17	
12 . . . . .	- 0,03	- 0,44	+ 0,55	} + 0,005
13 . . . . .	- 0,38	+ 0,32	+ 0,08	
14 . . . . .	+ 0,34	- 0,02	- 0,08	} + 0,005
15 . . . . .	+ 0,25	- 0,20	- 0,11	
15 . . . . .	- 0,20	+ 0,15	+ 0,12	} + 0,005
В среднем для одного наблюдателя . . . . .	± 0,17 <sub>1</sub>	± 0,16 <sub>2</sub>	± 0,20 <sub>1</sub>	
Влияние на конечный результат	- 0,00 <sub>2</sub>	- 0,05 <sub>3</sub>	+ 0,09 <sub>2</sub>	

Отсюда следует, что, например, для всего основного эталона точность измерений, которую могут дать только два наблюдателя, составляет  $\pm \frac{0,2_0}{\sqrt{24}} = \pm 0,04_1\%$ . Дальнейшее увеличение точности возможно лишь путем увеличения числа наблюдателей. Но это повлечет в более длительному горению эталонной лампы, что в настоящее время считается менее желательным.

### Приложение 3.

#### Повторное измерение силы тока у некоторых ламп.

Ведомость XIX содержит данные о повторном измерении силы тока у некоторых ламп, измерявшихся дважды. Как видно, сила тока в лампах вполне устойчива лишь в пределах до  $\pm 0,03\%$  у вторичного эталона и до  $0,01\%$  у эталона-свидетеля.

Ведомость XIX.

Обозначение лампы	Сила тока			Отклонение второго измерения от среднего; промиллы
	По первому измерению	По второму измерению	Средняя	
П-2-1 . . . . .	0,4247	0,42494	0,42484	+ 0,023
П-2-2 . . . . .	0,41857	0,41850	0,41853 <sub>5</sub>	- 0,009
П-2-3 . . . . .	0,42538	0,42536	0,42537	- 0,002
П-2-4 . . . . .	0,42134	0,42122 0,42147	0,42134	{ - 0,028 + 0,031
П-2-5 . . . . .	0,41724	0,41742	0,41733	+ 0,022
П-2-10 . . . . .	0,42504	0,42513	0,42508 <sub>6</sub>	+ 0,015
П-2-15 . . . . .	0,42014	0,42022	0,42018	+ 0,009
С-1-1 . . . . .	0,46259	0,46255	0,46257	- 0,004
С-1-2 . . . . .	0,46474	0,46473	0,46473 <sub>5</sub>	- 0,001
С-1-3 . . . . .	0,46319	0,46328	0,46323 <sub>5</sub>	+ 0,009
С-1-4 . . . . .	0,46284	0,46278	0,46281	- 0,006
С-1-5 . . . . .	0,46880	0,46875	0,46877 <sub>5</sub>	- 0,005
С-11-6 . . . . .	0,34688	0,34680	0,34684	- 0,012

## УСТАНОВЛЕНИЕ СВЕТОВЫХ ЭТАЛОНОВ-СВИДЕТЕЛЕЙ С—I<sub>2</sub> (с № 16 по № 30) и С—III.

П. М. Тиходеев.

Как можно было видеть из ранее опубликованных работ по установлению и хранению основного светового эталона СССР <sup>1)</sup>, он был образован из электрических ламп, свойства которых по совершенно независящим причинам предварительно не могли быть изучены эталонной фотометрической лабораторией Главной Палаты мер и весов. Осуществить в дальнейшем определение этих свойств также не считалось возможным, так как оно было бы сопряжено с износом эталонных ламп и с некоторой опасностью их повреждения. Указанная особенность основного светового эталона, являющаяся, конечно, в метрологическом отношении слабым местом, может быть устранена не столь скоро. Вот почему делу установления эталонов-свидетелей, составленных из достаточно большого числа ламп различного происхождения, придается важное значение.

Ранее был описан состав эталона-свидетеля первого С—I. Первая группа его в числе 15 ламп уже была сличена с основным эталоном. Ныне предстояло сличить вторую группу также из 15 ламп. Первая и вторая группы отличаются температурой накала нити, именно, она выше у второй группы. Удельное потребление ламп первой группы—около  $1,44 \frac{\text{ватт}}{\text{м. свеча}}$  и совпадает с таковым английской группы основного эталона. Удельное потребление второй группы  $1,23 \frac{\text{ватт}}{\text{м. свеча}}$ . Разница в удельных потребностях первой и второй групп создает уже значительное различие в окрасках их света.

Эталон-свидетель третий С—III состоит из восемнадцати ламп. Первые десять ламп С—III, с № 1 по № 10 имеют угольную нить, остальные восемь С—III<sub>2</sub> с № 11 по № 18—вольфрамовую. Лампы приобретены от Laboratoire Central d'Electricité в Париже и снабжены ею сертификатами от 4 мая 1927 г. Все лампы имеют фабричную марку «Iris, France», т.-е. ту же, что и первые шесть ламп французской группы основного эталона. Все эти лампы доставлялись из Франции по железной дороге. Очевидно, они подвергались значительным сотрясениям, так как двенадцать вольфрамовых ламп, находившихся в общей упаковке с сохранившимися восемнадцатью, пострадали, именно, у них переломился стеклянный столбик, поддерживающий нити <sup>2)</sup>. Это неблагоприятное обстоятельство должно быть принято во внимание (см. ниже).

<sup>1)</sup> 1) „Временник“ № 2 (14), 1928 г., стр. 160—164; 2) Настоящий выпуск „Временника“ и 3) Экспериментальный Бюллетень Главной Палаты мер и весов 1927 г., стр. 15—41.

<sup>2)</sup> Для эталона-свидетеля С—III приобреталось от L. C. E. тридцать ламп.

Предпочтительно было бы сравнить эталоны С—I<sub>2</sub> и С—III непосредственно с основным эталоном. Однако, это не было сделано, дабы избежать нового зажигания последнего. Тем более не оказалось целесообразным это сделать, что лампы С—III не считались достаточно надежными. Поэтому было решено сравнить эти эталоны с первой группой эталона-свидетеля первого С—I<sub>1</sub>.

Порядок сравнения ламп был выбран таким:

1) С—I—1	11) С—I—21	21) С—III—1	31) С—I—26	41) С—III—11	51) С—I—18
2) С—I—2	12) С—I—22	22) С—III—2	32) С—I—27	42) С—III—12	52) С—I—19
3) С—I—3	13) С—I—23	23) С—III—3	33) С—I—28	43) С—III—13	53) С—I—20
4) С—I—4	14) С—I—24	24) С—III—4	34) С—I—29	44) С—III—13	54) С—I—21
5) С—I—5	15) С—I—25	25) С—III—5	35) С—I—30	45) С—III—15	55) С—I—22
6) С—I—16	16) С—I—6	26) С—III—6	36) С—I—11	46) С—III—16	56) С—I—23
7) С—I—17	17) С—I—7	27) С—III—7	37) С—I—12	47) С—III—17	57) С—I—24
8) С—I—18	18) С—I—8	28) С—III—8	38) С—I—13	48) С—III—18	58) С—I—25
9) С—I—19	19) С—I—9	29) С—III—9	39) С—I—14	49) С—III—16	59) II—2—1
10) С—I—20	20) С—I—10	30) С—III—10	40) С—I—15	50) С—III—17	60) II—2—2
					61) II—2—3
					62) II—2—4
					63) II—2—5

Лампы С—I—16, С—I—17, С—I—18, С—I—19, С—I—20, С—I—21, С—I—22, С—I—23, С—I—24, С—I—25 измерялись повторно, чтобы учесть изменение силы света ламп сравнения<sup>1)</sup>. Лампы С—I—8, С—I—16, С—III—10 и С—III—13 измерялись дважды таким образом, что первый раз они измерялись в конце рабочего дня, а второй — в начале следующего дня. Установка лампы не менялась. Повторное измерение позволяло судить о благонадежности каждого отдельного измерения и об устойчивости свойств лампы.

Измерения были произведены 25, 26, 27, 28, 29 и 30 января и 8 февраля 1928 г. Световые и электрические измерения производились П. М. Тиходеевым и Е. Д. Девятковой. В электрических измерениях принимали также участие А. М. Сабуренков и М. В. Соколов. Результаты измерений обрабатывались Е. Д. Девятковой, А. М. Сабуренковым, М. В. Соколовым и др.

Электрические, световые и другие измерения производились теми же способами, что и раньше. Некоторое отличие имелось лишь в световых измерениях. Именно, прежний способ заключался в нахождении границ светового равенства, последовательно определяемых без перемещения фотометра в места, где равенства заведомо нет. Теперь же после, обычно, 6 отчетов фотометр отводился в сторону (за границы равенства), и затем граница находилась при новой установке фотометра<sup>2)</sup>. Так повторялось 3 и иногда 4 раза. В общем, оказалось, что этот второй способ менее благоприятен, чем ранее применявшийся, как в отношении точности измерений, так и в смысле большей затраты времени.

Результаты измерений без дальнейших пояснений приводятся ниже в ведомостях с I по IX.

<sup>1)</sup> По обычному способу, применяемому фотометрической лабораторией.

<sup>2)</sup> Как и всегда, предварительная установка фотометра производилась одним глазом, а наблюдения — другим.



Ведомость I.  
 Сила тока лампы эталона-свидетеля С-1.

Обозначение лампы	Сила тока, амперы			Разница в измерениях Ф. Л. Г. П. по отношению к данным 1928 г. и разница в измерениях Ф. Л. Г. П. 1928 г. и N. P. L. по отношению к данным Ф. Л. Г. П.	
	По измерениям Ф. Л. Г. П. 1927 г.	По измерениям Ф. Л. Г. П. 1928 г.	По измерениям N. P. L. 1927 г.	в процентах	
С-1-1	0,4625 <sub>7</sub>	0,4625 <sub>8</sub>	0,4626	- 0,00 <sub>2</sub>	+ 0,00 <sub>4</sub>
С-1-2	0,4647 <sub>4</sub>	0,4646 <sub>4</sub>	0,4648	+ 0,02 <sub>0</sub>	+ 0,03 <sub>4</sub>
С-1-3	0,4632 <sub>4</sub>	0,4631 <sub>7</sub>	0,4631	+ 0,01 <sub>5</sub>	- 0,01 <sub>5</sub>
С-1-4	0,4628 <sub>1</sub>	0,4626 <sub>4</sub>	0,4628	+ 0,03 <sub>7</sub>	+ 0,03 <sub>4</sub>
С-1-5	0,4687 <sub>8</sub>	0,4688 <sub>1</sub>	0,4690	- 0,00 <sub>6</sub>	+ 0,04 <sub>1</sub>
С-1-6	0,4606 <sub>8</sub>	0,4606 <sub>0</sub>	0,4610	+ 0,00 <sub>4</sub>	+ 0,07 <sub>4</sub>
С-1-7	0,4611 <sub>0</sub>	0,4609 <sub>2</sub>	0,4611	+ 0,03 <sub>7</sub>	+ 0,03 <sub>7</sub>
С-1-8	0,4628 <sub>5</sub>	0,4626 <sub>5</sub> <sup>1)</sup>	0,4628	+ 0,04 <sub>3</sub>	+ 0,03 <sub>2</sub>
С-1-9	0,4622 <sub>5</sub>	0,4621 <sub>4</sub>	0,4624	+ 0,02 <sub>4</sub>	+ 0,05 <sub>6</sub>
С-1-10	0,4605 <sub>8</sub>	0,4603 <sub>4</sub>	0,4607	+ 0,04 <sub>2</sub>	+ 0,07 <sub>4</sub>
С-1-11	0,4608 <sub>5</sub>	0,4607 <sub>7</sub>	0,4609	+ 0,01 <sub>7</sub>	+ 0,02 <sub>8</sub>
С-1-12	0,4609 <sub>6</sub>	0,4608 <sub>6</sub>	0,4614	+ 0,02 <sub>2</sub>	+ 0,11 <sub>7</sub>
С-1-13	0,4709 <sub>9</sub>	0,4709 <sub>2</sub>	0,4711	+ 0,01 <sub>7</sub>	+ 0,04 <sub>0</sub>
С-1-14	0,4600 <sub>9</sub>	0,4600 <sub>5</sub>	0,4605	- 0,04 <sub>3</sub>	+ 0,09 <sub>8</sub>
С-1-15	0,4628 <sub>3</sub>	0,4627 <sub>4</sub>	0,4630	+ 0,02 <sub>0</sub>	+ 0,05 <sub>0</sub>
В среднем для всех ламп . . .				+ 0,01 <sub>7</sub>	+ 0,04 <sub>7</sub>
В среднем для одной лампы . .				± 0,02 <sub>4</sub>	± 0,04 <sub>9</sub>

1) При повторном измерении сила тока не изменилась.

## Продолжение ведомости I.

Обозначение лампы	Сила тока; амперы			Разница в двух измерениях по отклонению к среднему	Разница в измерениях Ф. Л. Г. П. 1928 г. и Н. Р. Л. по отклонению к данным Ф. Л. Г. П.; проценты
	Измерения Ф. Л. Г. П. 1928 года		По измерениям Н. Р. Л. 1927 года		
	Первое	Повторное			
C-I-16	0,4273 <sub>n</sub>	0,4273 <sub>7</sub> 0,4273 <sub>5</sub> <sup>1)</sup>	0,4276	0,00 <sub>0</sub>	+ 0,05 <sub>0</sub>
C-I-17	0,4268 <sub>4</sub>	0,4267 <sub>7</sub>	0,4269	+ 0,00 <sub>9</sub>	+ 0,02 <sub>3</sub>
C-I-18	0,4268 <sub>2</sub>	0,4267 <sub>6</sub>	0,4269	+ 0,00 <sub>5</sub>	+ 0,02 <sub>3</sub>
C-I-19	0,4269 <sub>6</sub>	0,4269 <sub>8</sub>	0,4273	- 0,00 <sub>2</sub>	+ 0,07 <sub>7</sub>
C-I-20	0,4280 <sub>3</sub>	0,4280 <sub>0</sub>	0,4281	+ 0,00 <sub>2</sub>	+ 0,00 <sub>7</sub>
C-I-21	0,4279 <sub>4</sub>	0,4279 <sub>4</sub>	0,4279	0,00 <sub>0</sub>	- 0,00 <sub>9</sub>
C-I-22	0,4310 <sub>5</sub>	0,4310 <sub>1</sub>	0,4313	+ 0,00 <sub>5</sub>	+ 0,05 <sub>6</sub>
C-I-23	0,4250 <sub>0</sub>	0,4250 <sub>3</sub>	0,4251	+ 0,00 <sub>5</sub>	+ 0,00 <sub>9</sub>
C-I-24	0,4271 <sub>n</sub>	0,4271 <sub>2</sub>	0,4272	+ 0,00 <sub>5</sub>	+ 0,01 <sub>4</sub>
C-I-25	0,4246 <sub>1</sub>	0,4246 <sub>0</sub>	0,4249	- 0,00 <sub>5</sub>	+ 0,06 <sub>7</sub>
C-I-26	0,4249 <sub>2</sub>	—	0,4250	—	+ 0,01 <sub>4</sub>
C-I-27	0,4305 <sub>3</sub>	—	0,4309	—	+ 0,08 <sub>6</sub>
C-I-28	0,4273 <sub>7</sub>	—	0,4275	—	+ 0,03 <sub>0</sub>
C-I-29	0,4268 <sub>8</sub>	—	0,4271	—	+ 0,05 <sub>2</sub>
C-I-30	0,4294 <sub>5</sub>	—	0,4296	—	+ 0,03 <sub>4</sub>
В среднем для всех ламп с 16 по 30 . . .				+ 0,00 <sub>2</sub>	+ 0,03 <sub>6</sub>
В среднем для одной лампы с 16 по 30 . . .				± 0,00 <sub>4</sub>	± 0,03 <sub>0</sub>

1) Третье измерение.

## Ведомость II.

## Сила света лампы эталона-свидетеля С-I.

Обозначение лампы	Сила света; международные свечи			Разница в измерениях ф. Л. Г. П. по отношению к данным 1928 г.	Разница в измерениях ф. Л. Г. П. 1928 г. и N. P. L. по отношению к данным ф. Л. Г. П.
	По измерениям ф. Л. Г. П. 1927 года	По измерениям ф. Л. Г. П. 1928 года	По измерениям N. P. L. 1927 г.		
в п р о ц е н т а х					
С-I-1	34,41	34,40	34,50	+ 0,02	+ 0,29
С-I-2	34,86	34,88	35,00	- 0,07	+ 0,34
С-I-3	34,61	34,53	34,60	+ 0,23	+ 0,20
С-I-4	34,21	34,08	34,35	+ 0,35	+ 0,79
С-I-5	36,20	36,10	36,25	+ 0,28	+ 0,42
С-I-6	33,80	33,78	33,95	+ 0,07	+ 0,50
С-I-7	34,01	33,99	34,10	+ 0,04	+ 0,32
С-I-8	34,84	34,96	34,90	- 0,34	- 0,17
С-I-9	34,33	34,09	34,35	+ 0,69	+ 0,76
С-I-10	33,53	33,66	33,80	- 0,37	+ 0,42
С-I-11	33,37	33,47	33,75	- 0,29	+ 0,84
С-I-12	33,22	33,20	33,55	+ 0,00	+ 1,05
С-I-13	35,86	35,95	35,95	- 0,25	± 0,00
С-I-14	33,17	33,34	33,60	- 0,50	+ 0,78
С-I-15	34,16	34,14	34,35	+ 0,06	+ 0,62
В среднем для одной лампы				± 0,24	+ 0,48

## Продолжение ведомости II.

Обозначение лампы	Сила света; международные свечи			Разница в двух измерениях по отношению к среднему; знак указан для первого	Разница в измерениях Ф. Л. Г. П. 1928 г. и N. P. I. по отношению к данным Ф. Л. Г. П.
	По измерениям Ф. Л. Г. П. 1928 года		По измерениям N. P. I. 1927 г.		
	Первое и повторное <sup>1)</sup>	Среднее			
				в процентах	
C-I-16	{ 36,35 36,48 36,51 <sup>2)</sup> }	36,45	36,65	{ -0,26 +0,08 +0,18 }	+0,56
C-I-17	{ 37,40 37,39 }	37,40	37,55	+0,02	+0,41
C-I-18	{ 37,32 37,37 }	37,34	37,35	-0,06	+0,01
C-I-19	{ 37,18 37,21 }	37,20	37,35	-0,04	+0,41
C-I-20	{ 38,00 38,00 }	38,00	38,00	±0,00	±0,00
C-I-21	{ 37,69 37,71 }	37,70	37,70	-0,03	+0,01
C-I-22	{ 37,87 37,85 }	37,86	37,80	+0,03	-0,15
C-I-23	{ 36,47 36,45 }	36,46	36,50	+0,03	+0,12
C-I-24	{ 36,70 36,62 }	36,66	36,65	+0,11	-0,03
C-I-25	{ 35,82 35,83 }	35,82	36,10	-0,02	+0,77
C-I-26	36,14	36,14	36,20	-	+0,18
C-I-27	37,56	37,56	37,75	-	+0,50
C-I-28	36,67	36,67	36,90	-	+0,62
C-I-29	37,34	37,34	37,60	-	+0,70
C-I-30	37,76	37,76	37,90	-	+0,37
В среднем для одной лампы с 16 по 30				±0,07	-
В среднем для всех ламп с 16 по 30				-	+0,30

1) Соответственно верхняя и нижняя строчки.

2) Третье измерение.



Ведомость III.  
 Сила тока лампы эталона-свидетеля С-III

Обозначение лампы	Сила тока: амперы		Разница в измерениях Ф. Л. Г. П. и Л. С. Е. по отношению к данным Ф. Л. Г. П.; проценты
	По измерениям Ф. Л. Г. П. 1928 г.	По измерениям Л. С. Е. 1927 г.	
С-III-1	0,8154 <sub>4</sub>	0,815	- 0,05
С-III-2	0,7963 <sub>4</sub>	0,795	- 0,17
С-III-3	0,7905 <sub>7</sub>	0,789	- 0,20
С-III-4	0,7926 <sub>7</sub>	0,792	- 0,09
С-III-5	0,7978 <sub>6</sub>	0,796	- 0,23
С-III-6	0,7987 <sub>3</sub>	0,798	- 0,09
С-III-7	0,7879 <sub>0</sub>	0,786	- 0,24
С-III-8	0,7854 <sub>6</sub>	0,783	- 0,31
С-III-9	0,7991 <sub>2</sub>	0,797	- 0,27
С-III-10	{ 0,7901 <sub>9</sub> 0,7900 <sub>6</sub> <sup>1)</sup> }	0,788	- 0,27 <sup>2)</sup>
С-III-11	0,6425 <sub>1</sub>	0,643	+ 0,08
С-III-12	0,6430 <sub>7</sub>	0,643	- 0,01
С-III-13	{ 0,6384 <sub>3</sub> 0,6385 <sub>5</sub> <sup>1)</sup> }	0,640	+ 0,24 <sup>2)</sup>
С-III-14	0,6420 <sub>0</sub>	0,642	± 0,00
С-III-15	0,2838 <sub>3</sub>	0,284	+ 0,06
С-III-16	0,2840 <sub>8</sub>	0,285	+ 0,32
С-III-17	0,2842 <sub>3</sub>	0,285	+ 0,27
С-III-18	0,2839 <sub>0</sub>	0,284	+ 0,01
В среднем для всех ламп . . .			- 0,06

1) Повторное измерение.

2) Взята средняя сила тока по двум измерениям.

**Ведомость IV.**  
**Сила света лампы эталона-свидетеля С—III.**

Обозначение лампы	Сила света; международные свечи		Разница в измерениях Ф. Л. Г. П. и Л. С. Е. по отношению к данным Ф. Л. Г. П.; проценты	Примечание
	По измерениям Ф. Л. Г. П. 1928 г.	По измерениям Л. С. Е. 1927 г.		
С—III—1	20,70	20	— 3,4 <sub>0</sub>	Лампы с угольной нитью
С—III—2	20,71	20,1	— 2,9 <sub>8</sub>	
С—III—3	20,23	20	— 1,1 <sub>2</sub>	
С—III—4	20,50	20,1	— 1,9 <sub>5</sub>	
С—III—5	20,42	20,1	— 1,5 <sub>5</sub>	
С—III—6	20,69	20,1	— 2,8 <sub>4</sub>	
С—III—7	20,24	20	— 1,1 <sub>8</sub>	
С—III—8	20,57	20	— 2,7 <sub>8</sub>	
С—III—9	20,31	20	— 1,5 <sub>4</sub>	
С—III—10	20,18 <sup>1)</sup>	20	— 0,8 <sub>8</sub>	
В среднем для одной лампы с 1 по 10			— 2,0 <sub>1</sub>	
В среднем для всех ламп с 1 по 10.			— 2,0 <sub>2</sub>	
С—III—11	51,26	50,1	— 2,2 <sub>6</sub>	Лампы с водородной нитью
С—III—12	50,42	50,1	— 0,6 <sub>4</sub>	
С—III—13	49,46 <sup>2)</sup>	49,8	+ 0,6 <sub>9</sub>	
С—III—14	50,94	50,2	— 1,4 <sub>4</sub>	
С—III—15	20,17	20	— 0,8 <sub>6</sub>	
С—III—16	20,11	20	— 0,5 <sub>5</sub>	
С—III—17	20,44	20	— 2,1 <sub>1</sub>	
С—III—18	20,18	20	— 0,8 <sub>7</sub>	
В среднем для одной лампы с 11 по 18			± 1,1 <sub>8</sub>	
В среднем для всех ламп с 11 по 18			— 1,0 <sub>1</sub>	

**Ведомость V.**  
**Распределение ошибок измерений каждого наблюдателя по обоим лампам сравнения**

Пределы ошибок; проценты	Число ошибок	
	Для эталона-свидетеля С—I (с 19 по 30)	Для эталона-свидетеля С—III
0,00 — 0,10	38	22
0,20 — 0,30	40	20
0,40 — 0,50	15	10
0,60 и выше	11	28

<sup>1)</sup> Среднее из двух измерений (из 20,21 и 20,15).

<sup>2)</sup> Среднее из двух измерений (из 49,52 и 49,40).

Ведомость VI.  
Устойчивость световых измерений помощью глаза  
для ламп эталона-свидетеля С-III.

Обозначение лампы	Разница в измерениях по 1-й и 2-й лампам сравнения; проенты		Разница в измерениях 1-го и 2-го наблюдателей по отношению к среднему; проенты
	Для 1-го наблюдателя	Для 2-го наблюдателя	
С-III-1	+0,66	+0,28	-0,54
С-III-2	-0,15	+0,46	-0,83
С-III-3	-0,14	+0,90	-0,62
С-III-4	-0,82	+0,30	-1,06
С-III-5	+0,22	+0,51	-0,64
С-III-6	-0,57	+0,80	-0,55
С-III-7	-0,12	+0,10	-0,36
С-III-8	-0,14	+0,16	-1,22
С-III-9	+0,73	+0,42	-0,80
С-III-10	{ +0,08 -0,30	{ -0,52 +0,10	{ -0,20 -1,00
В среднем для одного наблюдателя по лампам с 1 по 10	±0,36	±0,41	-0,71
Влияние на конечный результат	-0,06	+0,32	-0,71
С-III-11	-0,20	+0,13	-0,41
С-III-12	+0,02	-0,02	-0,17
С-III-13	{ ±0,00 +0,10	{ +0,08 +0,35	{ -0,28 ±0,00
С-III-14	-0,16	+0,08	-0,08
С-III-15	-0,16	+0,04	-0,32
С-III-16	-0,80	+0,44	-0,04
С-III-17	-0,12	-0,21	-0,21
С-III-18	+0,35	+0,10	-0,18
В среднем для одного наблюдателя по лампам с 11 по 18	±0,21	±0,16	-0,19
Влияние на конечный результат	-0,11	+0,11	-0,19

## Ведомость VII.

## Изменения силы тока ламп сравнения.

Время измерений	Продолжи- тельность го- рения; часы	Сила тока; амперы		Изменения по сравнению со средней силой света; проценты		
		1-я лампа сравнения	2-я лампа сравнения	1-я лампа сравнения	2-я лампа сравнения	
25—I—28	В начале	0	0,3350 <sub>1</sub>	0,3420 <sub>7</sub>	- 0,06 <sub>1</sub>	- 0,10 <sub>5</sub>
	В конце	5,97	0,3352 <sub>4</sub>	0,3424 <sub>2</sub>	+ 0,00 <sub>6</sub>	- 0,00 <sub>2</sub>
26—I—28	В начале	6,88	0,3350 <sub>3</sub>	0,3423 <sub>5</sub>	- 0,04 <sub>2</sub>	- 0,02 <sub>3</sub>
	В конце	11,68	0,3352 <sub>7</sub>	0,3424 <sub>8</sub>	+ 0,01 <sub>5</sub>	+ 0,01 <sub>5</sub>
27—I—28	В начале	12,10	0,3350 <sub>4</sub>	0,3424 <sub>1</sub>	- 0,04 <sub>5</sub>	- 0,00 <sub>6</sub>
	В конце	17,65	0,3353 <sub>2</sub>	0,3425 <sub>2</sub>	+ 0,03 <sub>0</sub>	+ 0,02 <sub>6</sub>
28—I—28	В начале	17,98	0,3352 <sub>8</sub>	0,3424 <sub>8</sub>	+ 0,01 <sub>2</sub>	+ 0,01 <sub>5</sub>
	В конце	23,35	0,3353 <sub>5</sub>	0,3425 <sub>3</sub>	+ 0,03 <sub>9</sub>	+ 0,04 <sub>5</sub>
30—I—28	В начале	23,88	0,3352 <sub>2</sub>	0,3423 <sub>9</sub>	± 0,00 <sub>0</sub>	- 0,01 <sub>2</sub>
	В конце	29,20	0,3353 <sub>6</sub>	0,3425 <sub>6</sub>	+ 0,04 <sub>2</sub>	+ 0,03 <sub>8</sub>
В среднем . . .			0,3352 <sub>2</sub>	0,3424 <sub>9</sub>	± 0,03 <sub>0</sub>	± 0,02 <sub>9</sub>

## Заключение и выводы.

1. С довольно большим числом электрических ламп, предназначенных для последующего применения в качестве эталонных, автором предельвался опыт по выяснению влияния встряски на силу тока. Оказалось, что встряска холодной лампы влияет гораздо меньше, чем горячей. Влияние сильнее тогда, когда нить не жестко закреплена на крючках. Подобный опыт был проделан с лампой С—I—24 по время ее горения. Пальцем слегка постукивали по колбе лампы. Оказалось, что ток изменился на -0,01, % по отношению к начальной своей величине. В связи с этим позволительно думать, что разница в измерениях силы тока у ламп С—I<sub>1</sub> в 1927 и 1928 годах (см. ведомость I) в той или иной части может объясняться неустраняемыми сотрясениями при переноске и установке ламп.

2. Разница в измерениях силы света отдельных ламп С—I<sub>1</sub> в 1927 и 1928 годах едва ли может быть объяснена изменением самих ламп, так как между двумя измерениями протекло всего лишь 6 месяцев. Более вероятно наличие причин, о которых указывалось в предыдущей статье. Лампы С—I<sub>1</sub> по своему устройству очень близки к английской группе основного эталона. Таким образом, получается косвенное подтверждение того, что разница в световых измерениях, по крайней мере, английской

группы основного эталона, может объясняться иными причинами, чем условиями хранения. Особо следует отметить отдельные довольно большие выпады в двух измерениях, как, например, для лампы С—I—9: +0,69% и для лампы С—I—14: -0,50%. Если такая разница может быть в измерениях, производимых в одной и той же лаборатории и в одних и тех же условиях, то тем более допустима разница в измерениях одной и той же лампы в разных лабораториях (см., например, в предыдущей статье ведомость VIII-а).

3. Лампы сравнения, примененные в данной работе, были те же, что в предыдущей по установлению эталонов-свидетелей С—I<sub>1</sub> и С—II. Ниже следующая ведомость VIII показывает, как оценивалось каждым наблюдателем изменение силы света обеих ламп сравнения за 30 часов их горения в предыдущей работе и в настоящей.

## Ведомость VIII.

Изменение силы света ламп сравнения за 30 часов.

		В измерениях			
		1927 г.		1928 г.	
		проценты			
1-я лампа сравнения					
1-й наблюдатель	0,13 <sub>53</sub>	} 0,06 <sub>78</sub>	}	0,07 <sub>78</sub>	} 0,00 <sub>98</sub>
2-й наблюдатель	0,00 <sub>98</sub>			-0,07 <sub>48</sub>	
2-я лампа сравнения		-0,05 <sub>96</sub>			
1-й наблюдатель	0,11 <sub>70</sub>	} -0,17 <sub>40</sub>	}	-0,20 <sub>80</sub>	} 0,08 <sub>78</sub>
2-й наблюдатель	-0,46 <sub>68</sub>			0,38 <sub>18</sub>	
				0,04 <sub>21</sub>	

Как видно, в оценках отдельных наблюдателей имеется различие. Возможно, что оно происходит из-за недостаточности числа 10-ти повторно измеряемых ламп для того, чтобы исключить ошибки измерений у каждого наблюдателя.

4. Если обратиться к данным ведомости II, то можно видеть, что в измерениях фотометрической лаборатории Главной Палаты мер и весов английское значение международной свечи, воспроизводимое эталоном С—I<sub>1</sub>, отличается от такового, воспроизводимого С—I<sub>2</sub>, на +0,18%. Вполне возможно, что эта разница объясняется различием окрасок света обеих групп, такое различие может восприниматься не одинаково в обеих лабораториях (Ф. Л. Г. П. и Н. Р. Л.). К сожалению, в фотометрической лаборатории Главной Палаты мер и весов не было введено достаточного



числа наблюдателей, чтобы затронутый вопрос мог быть освещен более определенно.

5. В начале статьи указывалось, что лампы С—Ш подвергались сотрясениям. По этой причине не приходится считать, что они с надлежащей достоверностью воспроизводят французское значение международной свечи. Могло случиться, что сотрясения не ухудшили разрежения в колбах, а лишь смещали нити по крючкам. В этом случае допустительно было бы ожидать, что изменение в силе света равно возможно в направлении как увеличения, так и уменьшения. Таким образом, от нескольких ламп все же естественно ожидать воспроизведения французского значения международной свечи без особо большой погрешности. Вследствие этого нет необходимости вовсе пренебрегать возможностью судить по эталону С—Ш о французском значении единицы силы света. В особенности это справедливо по отношению к первым десяти угольным лампам, так как известно, что угольные лампы вполне безопасно переносят сильную встряску.

Как видно из ведомости IV, французское значение международной свечи, воспроизводимое восемью металлическими лампами, отличается от такового, получаемого по французской группе основного эталона, на  $+0,5\%$ . Можно считать, что такая разница, хотя и вышла за желаемые пределы, но все же довольно близка к той точности, с которой известно для фотометрической лаборатории Главной Палаты мер и весов французское значение международной свечи:  $\pm 0,4\%$  <sup>1)</sup> по основному эталону. При этом упомянутые восемь ламп сами воспроизводят французскую единицу с точностью около

$$\pm \sqrt{\frac{0,5^2}{8} + \frac{0,95^2}{8}} = \pm 0,38\%.$$

Что касается угольных ламп, то хотя от них и ожидается большая надежность, однако сравнение их с металлическими в фотометрической лаборатории производилось всего лишь двумя наблюдателями, какового числа вовсе недостаточно для ослабления или устранения различной чувствительности к цветам у отдельных лиц. Если обратиться к ведомости VI, то можно видеть, что в измерениях 1-го и 2-го наблюдателей имеется постоянная разница в  $0,7\%$  от среднего или в  $1,4\%$  по отношению к измерению одного наблюдателя, т. е. получается величина того же порядка, что и разница в значениях международной свечи по металлическим и угольным лампам. Следует заметить, что при сличении американских угольных ламп эталона-свидетели С—II разница в измерениях тех же наблюдателей составляла  $1,1\%$  по отношению к среднему. А разница в американском значении международной свечи по металлическим и угольным лампам того же эталона или оценивалась в  $0,75\%$ .

Нижеследующая ведомость IX дает сводку соотношений в значениях международной свечи разных стран по измерениям фотометрической лаборатории Главной Палаты мер и весов.

<sup>1)</sup> „Временник“ № 2, (14), 1928; стр. 176.

Ведомость IX.

Соотношение значений международной свечи по измерениям фотометрической лаборатории Главной Палаты мер и весов.

	Число ламп	Значение международной свечи			
		Русское	Английское	Французское	Американское
По основному эталону; 1925 г. . . . .	12	1,000 <sub>0</sub>	0,994 <sub>6</sub>	1,005 <sub>4</sub>	—
По основному эталону; 1927 г. . . . .	12	1,000 <sub>0</sub>	0,995 <sub>5</sub>	1,004 <sub>6</sub>	—
По эталону-свидетелю С—I (с 1 по 15); 1927 г. . . . .	15	1,000 <sub>0</sub>	0,995 <sub>1</sub>	—	—
По эталону-свидетелю С—I (с 1 по 15); 1928 г. . . . .	15	1,000 <sub>0</sub>	0,995 <sub>2</sub>	—	—
По эталону-свидетелю С—I (с 16 по 30); 1928 г. . . . .	15	1,000 <sub>0</sub>	0,997 <sub>0</sub>	—	—
По металлическим лампам эталона-свидетеля С—II (с 1 по 6); 1927 г. . . . .	6	1,000 <sub>0</sub>	—	—	1,001 <sub>4</sub> <sup>1)</sup>
По угольным лампам эталона-свидетеля С—II (с 7 по 12); 1927 г. . . . .	6	1,000 <sub>0</sub>	—	—	0,999 <sub>30</sub> <sup>1)</sup>
По металлическим лампам эталона-свидетеля С—III (с 11 по 18); 1928 г. . . . .	8	1,000 <sub>0</sub>	—	1,010 <sub>1</sub> <sup>1)</sup>	—
По угольным лампам эталона-свидетеля С—III (с 1 по 10); 1928 г. . . . .	10	1,000 <sub>0</sub>	—	1,020 <sub>2</sub> <sup>1)</sup>	—

Приложение.

Сличение части ламп вторичного эталона.

В конце вышеописанных измерений были сличены также первые пять ламп (с 1 по 5) вторичного эталона II—2. Все измерения опирались на первую группу эталона-свидетеля первого (С—I с 1 по 16). Таким образом, именно с ним сличались лампы вторичного эталона. Эти последние лампы, после их сличения с основным эталоном в 1927 г., несколько раз употреблялись в дело и уже частично изнашивались; (см. ведомость X).

Ведомость X.

Данные о применении ламп вторичного эталона II—2 с 1-й по 5-ю.

Обозначение лампы	Число применений лампы	Общая продолжительность горения лампы; часы
II—2—1 . . . . .	7	2,02
II—2—2 . . . . .	6	1,55
II—2—3 . . . . .	5	1,18
II—2—4 . . . . .	6	1,89
II—2—5 . . . . .	2	0,43
В среднем . . . . .	5	1,31

<sup>1)</sup> Эти значения не считаются вполне благонадежными.

Ведомости XI и XII содержат данные об измерениях силы тока и силы света. Как видно, несмотря на значительное изменение силы тока у некоторых ламп (П-2-4 и П-2-5), изменения силы света для каждой лампы составляют  $\pm 0,30\%$ , а для всех пяти ламп вместе взятых, в среднем,  $\pm 0,11\%$ . Этот последний результат следует признать вполне удовлетворительным.

## Ведомость XI.

## Измерения силы тока пяти ламп вторичного эталона.

Обозначение лампы	Сила тока; амперы		Разница в измерениях по отношению к данным 1927 г., проценты
	По измерениям 1927 г.	По измерениям 1928 г.	
П-2-1 . . . . .	0,4248 <sub>4</sub>	0,4248 <sub>3</sub>	+ 0,00 <sub>0</sub>
П-2-2 . . . . .	0,4185 <sub>4</sub>	0,4185 <sub>1</sub>	- 0,00 <sub>7</sub>
П-2-3 . . . . .	0,4253 <sub>7</sub>	0,4254 <sub>3</sub>	+ 0,01 <sub>4</sub>
П-2-4 . . . . .	0,4213 <sub>4</sub>	0,4210 <sub>3</sub>	- 0,07 <sub>3</sub>
П-2-5 . . . . .	0,4173 <sub>3</sub>	0,4166 <sub>0</sub>	- 0,16 <sub>0</sub>
В среднем для одной лампы . .	—	—	$\pm 0,05$ <sub>3</sub>
В среднем для всех ламп . .	—	—	- 0,04 <sub>3</sub>

## Ведомость XII.

## Измерения силы света пяти ламп вторичного эталона.

Обозначение лампы	Сила света; международные свечи		Разница в измерениях по отношению к данным 1927 г.
	По измерениям 1927 г.	По измерениям 1928 г.	
П-2-1 . . . . .	36,85 <sub>0</sub>	36,96 <sub>3</sub>	+ 0,40
П-2-2 . . . . .	35,25 <sub>4</sub>	35,43 <sub>3</sub>	+ 0,51
П-2-3 . . . . .	36,55 <sub>7</sub>	36,56 <sub>1</sub>	+ 0,01
П-2-4 . . . . .	35,71 <sub>8</sub>	35,54 <sub>3</sub>	- 0,49
П-2-5 . . . . .	35,03 <sub>7</sub>	35,07 <sub>4</sub>	+ 0,10
В среднем для одной лампы . .	—	—	$\pm 0,30$
В среднем для всех ламп . .	—	—	+ 0,11

## СРАВНЕНИЕ ЕДИНИЦ СИЛЫ СВЕТА И СВЕТОВОГО ПОТОКА СССР С ЕДИНИЦАМИ ГЕРМАНИИ И ФРАНЦИИ.

П. М. Тиходеев.

Сравнение единиц силы света и светового потока СССР и Германии до последнего времени еще не было осуществлено. Не было оно произведено также и для единиц светового потока СССР и Франции. Что же касается сравнения единиц силы света СССР и Франции, то таковое имело место ранее<sup>1)</sup>. Однако, оно нуждалось в уточнении, так как одна из групп эталонных ламп, воспроизводящих французское значение международной свечи (эталон-свидетель третий: С—Ш<sub>2</sub>) подверглась значительным сотрясениям по дороге из Франции в СССР и ее показаниям приходилось придавать меньшую достоверность.

Для осуществления всех этих сличений Главная Палата мер и весов СССР в конце 1928 г. отправила сначала в Германию, а затем во Францию две группы электрических ламп накаливания. Первая группа из восьми пустотных вольфрамовых ламп, составляющих часть эталона-свидетеля третьего (с обозначениями от С—Ш—11 по С—Ш—18), была сличена с основным эталоном международной свечи СССР в январе месяце 1928 г. Вторая группа из шести пустотных вольфрамовых ламп, составляющих один из эталонов-свидетелей люмена (с обозначением от ПБ—2—1 по ПБ—2—6), сличена с первичным эталоном люмена СССР в июле месяце 1928 г.

Для целей международных сличений, связанных обычно с перевозкой ламп на значительные расстояния, было бы предпочтительно взять лампы конструкции Главной Палаты мер и весов, так как они механически более прочны и влияние механических сотрясений на их световые свойства не ощутимы. Однако, в тому времени запас этих ламп был еще недостаточен.

Вторая группа ламп ПБ—2 имеет сравнительно слабое натяжение нити и нежесткое закрепление их в крючках. Поэтому эти лампы в большей мере, чем лампы первой группы, не застрахованы от некоторых, правда, небольших перемещений нити, что в более или менее заметной мере может отражаться на постоянстве световых свойств.

<sup>1)</sup> См. „Световой эталон СССР“. Статья П. М. Тиходеева в издании Главной Палаты мер и весов: „Электрические и световые эталоны СССР“, 1928 г.

Дабы обеспечить наиболее благоприятные условия для переправки ламп, они перевозились автором на руках. Они находились под постоянным надзором. Лампы не подвергались никаким сотрясениям, кроме неизбежных для железных дорог. Упаковка ламп (толстые слои ваты) предохраняла от последствий резких толчков и ударов, а также от внезапного изменения температуры<sup>1)</sup>. Одна из ламп (С—Ш—16) все же подверглась механической порче (когда она находилась не под нашим наблюдением) и смогла принять участие лишь в половине испытаний.

Совершенно очевидно, что предпочтительно было бы увеличить число ламп, участвовавших в сличениях. Однако, число их ограничивалось условиями перевозки.

В конце ноября и начале декабря 1928 г. лампы измерялись в Physikalisch-Technische Reichsanstalt и 22 декабря того же года в Laboratoire Central d'Electricité. Для того, чтобы убедиться в степени сохранности ламп, они вновь были измерены фотометрической лабораторией Главной Палаты мер и весов 29 января 1929 г., а затем группа, производившая люмен,—повторно 14-го февраля того же года. Лампы С—Ш—15 и С—Ш—18 измерялись дважды, так как при первом их измерении силы тока обнаружили заметные отклонения от данных измерений 1928 г. Группа же ламп ПБ—2 показала некоторое отклонение в световом потоке и потому также измерялась второй раз. Группа ламп С—Ш, сличалась с лампами С—I с номера 11 по 15, а также С—I—29 и С—I—30, а группа ПБ—2 с лампами первичного эталона люмена с П—I—6 по П—I—11, т. е. в обоих случаях лампы сличались с теми же эталонами, что и перед отправкой для сличения в Германию и Францию<sup>2)</sup>. За время между двумя сличениями эти эталоны С—I и П—I, оставшиеся в СССР, хранились в покое и не применялись<sup>3)</sup>.

Результаты сличений приводятся ниже в ведомостях I и II.

Лампы С—Ш—19, С—Ш—20 и С—Ш—21 были любезно предоставлены Главной Палаты мер и весов Laboratoire Central d'Electricité и участвовали лишь в части сличений.

Результаты конечных измерений ламп группы С—Ш<sub>2</sub> показывают, что лампы или не изменились, или изменились на величину, лежащую в пределах точности световых измерений. Лампа С—Ш—18 показала более заметные изменения в силах света и тока, а лампа С—Ш—15 только в силе тока, чем прочие. Однако, если данные первой лампы и не принимать в расчет, то это мало отразится на конечных результатах.

Результаты измерений ламп группы ПБ—2 могут вызвать предположение, что лампы незначительно изменились. Тем не менее, найденная величина изменения—0,24% почти укладывается в пределы точности измерений, ограничиваемой также, как это выше указывалось, меньшей

<sup>1)</sup> Нежелательно подвергать лампы замораживанию и покрыванию росой.

<sup>2)</sup> См. статьи П. М. Тиходека 1) Об установлении эталонов-свидетелей международной свечи СССР (Временник, № 3(15), 1929 г., и 2) Об установлении эталона люмена СССР (подготавливается к печати).

<sup>3)</sup> Их сохранность определялась обычными способами.



В е д о м о с т ь 1.

Соотношение значений международной свечи СССР и Франции и свечи Гейнера Германии.

Обозначение лампы	Сила света <sup>1)</sup> ; мощность лампы	Напряжение у розетки лампы	Сила тока <sup>2)</sup> амперы	Удельное потребление инерт. натрия/м. св.	Соотношение единиц силы света				Соотношение силы тока				Примечания		
					1929 г.		1928 г.		1928 г.		1928 г.			1929 г.	
					Гланц. Плат.	мер и весов	Р. Т. R. 7)	Е. С. E. 3)	Гланц. Плат.	мер и весов	Р. Т. R. 7)	Е. С. E. 3)		Гланц. Плат.	мер и весов
C-III-11	51,2 <sub>g</sub>	107,0 <sub>в</sub>	0,6425 <sub>д</sub>	1,34	1,000 <sub>в</sub>	0,880 <sub>в</sub>	1,001 <sub>д</sub>	1,000 <sub>в</sub>	1,000 <sub>в</sub>	0,9998	1,000 <sub>в</sub>	0,9998	1,0000	1) По данным Главн. Палаты мер и весов, 1929 г.	
C-III-12	50,4 <sub>g</sub>	107,0 <sub>в</sub>	0,6420 <sub>д</sub>	1,36	1,000 <sub>в</sub>	0,880 <sub>в</sub>	0,998 <sub>д</sub>	1,000 <sub>в</sub>	1,000 <sub>в</sub>	0,9997	1,000 <sub>в</sub>	0,9998	1,0000	2) Physikalisch-Techn. Reichsanstalt.	
C-III-13	49,5 <sub>g</sub>	106,0 <sub>в</sub>	0,6387 <sub>д</sub>	1,36	1,000 <sub>в</sub>	0,883 <sub>в</sub>	0,994 <sub>д</sub>	1,000 <sub>в</sub>	1,000 <sub>в</sub>	0,9999	1,000 <sub>в</sub>	0,9998	1,0000	3) Laboratoire Central d'Electricité.	
C-III-14	51,0 <sub>g</sub>	107,5 <sub>в</sub>	0,6420 <sub>д</sub>	1,35	1,000 <sub>в</sub>	0,878 <sub>в</sub>	0,998 <sub>д</sub>	1,002 <sub>д</sub>	1,000 <sub>в</sub>	0,9996	1,000 <sub>в</sub>	0,9998	1,0000	4) Исправлено на измерение силы света и сила тока лампы, т.-е. отнесено к среднему арифметическому на измер. Главной Палаты 1928 и 1929 г.	
C-III-15	20,1 <sub>г</sub>	105,5 <sub>в</sub>	0,2833 <sub>д</sub>	1,49	1,000 <sub>в</sub>	0,876 <sub>в</sub>	1,003 <sub>д</sub>	1,000 <sub>в</sub>	1,000 <sub>в</sub>	0,9996	1,000 <sub>в</sub>	0,9998	1,0000	5) По данным Гл. Пал. мер и весов 1928 г.	
C-III-16	(20,1 <sub>г</sub> ) <sup>3)</sup>	105,70 <sub>в</sub> <sup>3)</sup>	(0,2840 <sub>д</sub> ) <sup>3)</sup>	1,49 <sup>3)</sup>	1,000 <sub>в</sub>	0,876 <sub>в</sub>	—	(1,0000)	(0,9985)	—	—	—	—		
C-III-17	20,4 <sub>г</sub>	106,70 <sub>в</sub>	0,2840 <sub>д</sub>	1,48	1,000 <sub>в</sub>	0,876 <sub>в</sub>	1,001 <sub>д</sub>	1,000 <sub>в</sub>	1,000 <sub>в</sub>	0,9998	1,000 <sub>в</sub>	0,9998	1,0000		
C-III-18	19,9 <sub>г</sub>	105,30 <sub>в</sub>	0,2835 <sub>д</sub>	1,40	1,000 <sub>в</sub>	0,874 <sub>в</sub>	0,998 <sub>д</sub>	1,010 <sub>д</sub>	1,000 <sub>в</sub>	0,9991	1,000 <sub>в</sub>	0,9990	1,0000		
C-III-19	20,1 <sub>г</sub>	102,50 <sub>в</sub>	0,3208 <sub>д</sub>	1,63	—	—	(0,998 <sub>д</sub> )	(1,000 <sub>в</sub> )	—	—	(1,000 <sub>д</sub> )	(1,0000)	(1,0000)		
C-III-20	20,2 <sub>г</sub>	102,50 <sub>в</sub>	0,3222 <sub>д</sub>	1,63	—	—	(1,007 <sub>д</sub> )	(1,000 <sub>в</sub> )	—	—	(0,999 <sub>д</sub> )	(1,0000)	(1,0000)		
C-III-21	20,1 <sub>г</sub>	102,70 <sub>в</sub>	0,3214 <sub>д</sub>	1,64	—	—	(0,999 <sub>д</sub> )	(1,000 <sub>в</sub> )	—	—	(0,998 <sub>д</sub> )	(1,0000)	(1,0000)		
1. Среднее . . . . .					1,000 <sub>в</sub>	0,879 <sub>в</sub>	0,999 <sub>д</sub>	1,000 <sub>в</sub>	1,000 <sub>в</sub>	0,9996	1,000 <sub>в</sub>	0,9995	1,0000		
2. Среднее исправленное <sup>4)</sup> . . . . .					1,000 <sub>в</sub>	0,878 <sub>в</sub>	0,999 <sub>д</sub>	1,000 <sub>в</sub>	1,000 <sub>в</sub>	0,9998	1,000 <sub>в</sub>	0,9998	1,0000		
3. (Среднее исправленное без лампы C-III 18): . . . . .					0,999 <sub>в</sub>	0,880 <sub>в</sub>	1,000 <sub>д</sub>	0,999 <sub>в</sub>	0,999 <sub>в</sub>	0,9999	0,999 <sub>в</sub>	0,999 <sub>в</sub>	0,9998		
4. Среднее, исправленное включая лампы 18, 19, 20 и 21 . . . . .					1,000 <sub>в</sub>	—	0,999 <sub>д</sub>	1,000 <sub>в</sub>	0,999 <sub>в</sub>	—	0,999 <sub>в</sub>	—	0,999 <sub>в</sub>		

В е д о м о с т ь II.  
Соотношение значений люмена СССР, Франции и Германии.

Обозначение лампы	Световой поток $\frac{1}{2}$ люмена		Напряжение: вольты	Сила тока $\frac{1}{2}$ ампера	Световая отдача $\frac{1}{2}$ люмена/ватт	Соотношение единиц светового потока				Соотношение силы тока				Примечания
	1929 г.	1929 г.				Главная Плата мер и весов	Р. Т. Н. 2)	Л. С. Е. 3)	Главная Плата мер и весов	Р. Т. Н. 2)	Л. С. Е. 3)	Главная Плата мер и весов		
	1929 г.	1929 г.	1928 г.	1928 г.	1928 г.	1928 г.	1928 г.	1928 г.	1928 г.	1928 г.	1928 г.	1928 г.		
ПВ-2-1 . . . . .	408 <sub>8</sub>	107,00 <sub>0</sub>	0,5001 <sub>4</sub>	7,6 <sub>3</sub>	1,000 <sub>0</sub>	0,874 <sub>6</sub>	0,917 <sub>7</sub>	1,001 <sub>2</sub>	1,0000	0,9991	0,997 <sub>2</sub>	0,9995	1) Поданным Гл. Палата мер и весов, 1929 г.	
ПВ-2-2 . . . . .	407 <sub>3</sub>	107,00 <sub>0</sub>	0,4999 <sub>7</sub>	7,6 <sub>1</sub>	1,000 <sub>0</sub>	0,876 <sub>7</sub>	0,920 <sub>1</sub>	1,003 <sub>2</sub>	1,0000	1,0001	0,998 <sub>1</sub>	0,9994	2) Physikalisch-Technische Reichsun-	
ПВ-2-3 . . . . .	405 <sub>6</sub>	107,00 <sub>0</sub>	0,4986 <sub>6</sub>	7,6 <sub>0</sub>	1,000 <sub>0</sub>	0,874 <sub>7</sub>	0,928 <sub>8</sub>	1,005 <sub>2</sub>	1,0000	1,0003	0,998 <sub>2</sub>	0,9998	stalt.	
ПВ-2-4 . . . . .	409 <sub>4</sub>	107,00 <sub>0</sub>	0,4982 <sub>5</sub>	7,6 <sub>5</sub>	1,000 <sub>0</sub>	0,877 <sub>6</sub>	0,919 <sub>0</sub>	1,007 <sub>6</sub>	1,0000	1,0001	0,996 <sub>0</sub>	0,9993	3) Laboratoire Central d'Electricité.	
ПВ-2-5 . . . . .	405 <sub>7</sub>	107,00 <sub>0</sub>	0,4986 <sub>6</sub>	7,5 <sub>9</sub>	1,000 <sub>0</sub>	0,870 <sub>0</sub>	0,911 <sub>3</sub>	1,001 <sub>7</sub>	1,0000	0,9996	0,995 <sub>0</sub>	0,9992	4) Исправлено на значение светового потока в силы тока лампы.	
ПВ-2-6 . . . . .	406 <sub>6</sub>	107,00 <sub>0</sub>	0,4986 <sub>7</sub>	7,6 <sub>7</sub>	1,000 <sub>0</sub>	0,871 <sub>4</sub>	0,904 <sub>1</sub>	0,993 <sub>4</sub>	1,0000	1,0003	0,998 <sub>6</sub>	1,0000		
Среднее . . . . .					1,000 <sub>0</sub>	0,874 <sub>2</sub>	0,917 <sub>2</sub>	1,002 <sub>4</sub>	1,0000	0,9999	0,997 <sub>2</sub>	0,999 <sub>2</sub>		
Среднее исправленное <sup>4)</sup> . . . . .					1,001 <sub>3</sub>	0,873 <sub>2</sub>	0,916 <sub>2</sub>	1,001 <sub>2</sub>	0,999 <sub>6</sub>	1,0001	0,997 <sub>7</sub>	0,999 <sub>2</sub>		

устойчивостью световых свойств этих ламп. Отметим также, что повторное измерение этих ламп в Главной Палате мер и весов производилось без припайки ламп к проводам (каковая имела место при первом измерении) для того, чтобы приблизиться к условиям измерений в Physikalisch-Technische Reichsanstalt и Laboratoire Central d'Electricité, где припайка не применяется.

Осторожнее, конечно, с найденными изменениями сил света и светового потока обеих групп считаться и для определения соотношения единиц брать среднее значение из первого и повторного измерений ламп в Главной Палате мер и весов.

Как видно, соотношение между единицами силы света и светового потока СССР, Франции и Германии при данном сравнении найдено с точностью около  $\pm 0,1\%$  для международной свечи и около  $+0,15\%$  для люмена, каковой точностью вполне можно удовлетвориться для современного состояния международных световых измерений.

Вновь полученное по лампам С—Ш<sub>2</sub> французское значение международной свечи отличается от прежде определенного по Французской группе ламп основного эталона кругло на  $0,5\%$ . Можно отметить также разницу в теперешних измерениях ламп в Laboratoire Central d'Electricité по сравнению с ранее имевшими место в 1927 году. Однако, по свидетельству проф. Jonaust, измерения 1928 г. являются наиболее достоверными: они непосредственно связаны с основным световым эталоном Франции<sup>1)</sup>; предыдущие же измерения следовало бы считать менее точными.

Одну из возможных причин в значительной разнице между люменами СССР и Франции проф. Jonaust считает позволительным видеть в том, что первичный эталон люмена Франции составлен из газополных ламп; при переходе от этих ламп к пустотным из-за разницы в спектре и различной чувствительности к нему отдельных наблюдателей показания этих последних могут заметно отличаться. Люмен Франции, воспроизводимый газополными лампами, очень близок к люменам Соединенных Штатов Америки и Англии; однако, при сличениях пустотных ламп люмен Франции отличается, приблизительно, так же, как и от люмена СССР.

Другие сравнения, выполненные ранее Главной Палатой мер и весов<sup>2)</sup>, показывают, что люмен СССР очень близок к люменам Соединенных Штатов Америки и Англии при сличениях как пустотных, так и газополных ламп.

Нижеследующая ведомость III приводит данные о некоторых условиях световых измерений, применяемых в различных лабораториях.

Описанное выше сравнение могло быть выполнено лишь благодаря исключительной любезности Dr. W. Dziobek в Physikalisch-Technische Reichsanstalt и проф. Jonaust, а также M. Waguez в Laboratoire Central d'Electricité. Автор считает своим приятным долгом принести им здесь глубочайшую благодарность.

<sup>1)</sup> Именно, с 11-ю его (угольными) лампами из общего числа около 20-ти.

<sup>2)</sup> Имеют быть опубликованными.

## Ведомость III.

Условия измерений	Главная Палата мер и весов	Physikalisch-Technische Reichsanstalt <sup>1)</sup>	Laboratoire Central d'Electricité.
<p>А. Силы света.</p> <p>1. Расстояние между лампой и фотометром.</p> <p>2. Фотометр.</p>	<p>Такое, на котором лампа дает освещенность около 15 люкс.</p> <p>Контрастный Люметра и Бродгуна. Контраст образный: травяной светлее поля. Малое поле сравнения.</p>	<p>Соответствующим освещенности от 3 до 10 люкс.</p> <p>Контрастный Люметра и Бродгуна. Большое поле сравнения.</p>	<p>Около 1,2 м.</p> <p>Контрастный Люметра и Бродгуна. Большое поле сравнения.</p>
<p>3. Выравнивание цветов спектров полей сравнения в фотометре.</p>	<p>Не производится, но на стороне лампы постоянный голубой фильтр, прозрачность его в вычислениях не входит.</p>	<p>На стороне лампы сравнения переменный голубой фильтр с пластинками юсиффилиантом прозрачности.</p>	<p>Не производится, но измеренная лампа сравнивается с промежуточным эталоном, значением приблизительно одинаковым с измеренной.</p> <p>Фильтров нет.</p> <p>Газовый.</p> <p>1. —</p> <p>2. — 4 минут.</p>
<p>4. Экран.</p> <p>5. Число наблюдателей.</p> <p>6. Продолжительность горения лампы за время измерений.</p>	<p>Серниобаритный.</p> <p>2 (при двух лампах сравнения). Около 12 минут.</p>	<p>Газовый.</p> <p>2. —</p>	<p>Шаровой фотометр диаметром 1 м и фотометрическая скамья длиной 3 м.</p> <p>Контрастный Люметра и Бродгуна. Большое поле сравнения.</p> <p>Не производится.</p> <p>Окраска поля.</p> <p>1. —</p> <p>2. — 4. минуты.</p>
<p>В. Светового потока.</p> <p>1. Измерительная установка.</p> <p>2. Фотометр.</p>	<p>Шаровой фотометр диаметром 1 м и фотометрическая скамья длиной 0,75 м.</p> <p>Контрастный Люметра и Бродгуна. Большое поле сравнения.</p> <p>Не производится; однако, на стороне лампы сравнения постоянный голубой экран.</p> <p>Серниобаритный барьер.</p> <p>3. —</p> <p>8 — 10 минут.</p>	<p>—</p> <p>—</p> <p>—</p> <p>—</p>	<p>Шаровой фотометр диаметром 1 м и фотометрическая скамья длиной 3 м.</p> <p>Контрастный Люметра и Бродгуна. Большое поле сравнения.</p> <p>Не производится.</p> <p>Окраска поля.</p> <p>1. —</p> <p>2. — 4. минуты.</p>
<p>3. Выравнивание цветов спектров полей сравнения в фотометре.</p> <p>4. Окраска поля.</p> <p>5. Число наблюдателей.</p> <p>6. Продолжительность горения лампы за время измерений.</p>	<p>Не производится; однако, на стороне лампы сравнения постоянный голубой экран.</p> <p>Серниобаритный барьер.</p> <p>3. —</p> <p>8 — 10 минут.</p>	<p>(Окраска поля).</p> <p>2. —</p>	<p>Не производится.</p> <p>Окраска поля.</p> <p>1. —</p> <p>2. — 4. минуты.</p>

<sup>1)</sup> Сведения, в соответствии с которыми не помня и, возможно, неточны.

## КОМПЕНСАЦИОННЫЙ МЕТОД ШЕРИНГ—АЛЬБЕРТИ В ЛАБОРАТОРИИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.

В. И. Кротова.

В виду большого развития в настоящее время техники сильных токов и высоких напряжений, применение измерительных трансформаторов получило повсеместное распространение. Поэтому определение действительного коэффициента трансформации и угла сдвига между первичными и вторичными величинами имеет весьма большое значение.

**1. Общие сведения и принцип действия исследуемого метода.** Одним из способов проверки измерительных трансформаторов являющаяся в настоящее время в лаборатории переменного тока Главной Палаты мер и весов установка, изготовленная фирмой Гартман и Браун. Этот способ весьма прост и удобен в работе и дает достаточно точные результаты.

Он представляет собой некоторое изменение основного метода Шеринга и Альберти, применяемого в *Physikalisch-Technische Reichsanstalt* и описанного в *Archiv für Elektrotechnik*, 1914, p. 263

В этом способе применен принцип компенсационного метода на переменном токе, специально приспособленный для данной цели. В этом случае компенсационный метод является абсолютным, так как напряжения на первичных и вторичных зажимах поверяемого измерительного трансформатора сравниваются между собой непосредственно при замыкании на некоторые известные сопротивления (омические и емкость), по величинам которых и определяется коэффициент трансформации  $U$  и угол сдвига между первичным и вторичным токами (трансформаторы тока) или напряжениями (трансформаторы напряжения).

Применяемая в этой установке аппаратура различна для различных видов измерительных трансформаторов (тока или напряжения), но принцип действия один и тот же, состоящий в компенсации напряжений, зависящих от первичных и вторичных токов или напряжений.

**2. Описание применяемого гальванометра, его чувствительность и установка.** Для определения компенсации в обоих случаях применяется вибрационный гальванометр стрелочного типа, исследованный Шерингом и Шмидтом<sup>1)</sup>.

В гальванометре этого типа стрелка, состоящая из прямоугольного кусочка мягкого железа, укрепленная на коаксиальной струне, находится под влиянием двух систем магнитных полей: а) поля возбуждения, создаваемого двумя электромагнитами постоянного тока U-образной формы и б) перпендикулярных к нему пульсирующих магнитных полей, создавае-

<sup>1)</sup> Z. f. Instrumentenkunde. Январь 1918 г.



мых четырьмя электромагнитами переменного тока, расположенными на башмаках первых электромагнитов. Поле электромагнитов постоянного тока создает собственный период колебаний подвижной системы, меняющийся в зависимости от величины его напряжения, иначе—от силы постоянного тока. Поля переменного тока (пульсирующие) заставляют стрелку вибрировать. Настройка прибора на определенную частоту производится изменением силы постоянного тока при помощи введенного в цепь двухстороннего трубчатого реостата с грубой и тонкой регулировкой. В лаборатории переменного тока источником постоянного тока является аккумуляторная батарея Гюдора на 12 вольт емкостью 40 ампер-часов. При гальванометре имеются две взаимозаменяемые подвижные системы, различающиеся массой и геометрическими размерами стрелки, благодаря чему он может быть настроен в пределах от 25 до 160 периодов. Чувствительность гальванометра (со стороны переменного тока) может быть изменяема в весьма широких пределах. Катушки электромагнитов переменного тока могут быть соединены: 1) последовательно, 2) последовательно—параллельно и 3) параллельно. Кроме того имеется рычажный реостат со ступенями 0—200—5 000—100 000— $\infty$ , позволяющий постепенно увеличивать чувствительность.

Чувствительность гальванометра не меняется заметно при изменении частоты от 40 до 55 периодов (при одинаковой остроте настройки), и, по определению лаборатории (добавочный реостат был весь выведен), имеет следующие величины:

При соединении катушек электромагнита	Сопротивление гальванометра ( $r_g$ )	Вольтная чувствительность	Токовая чувствительность
Параллельно . . . . .	4,8 ома	$4,8 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-6}$
Последовательно—параллельно . . . . .	18,4 "	$9,3 \times 10^{-6}$	$0,5 \times 10^{-6}$
Последовательно . . . . .	74 "	$18,5 \times 10^{-6}$	$0,25 \times 10^{-6}$

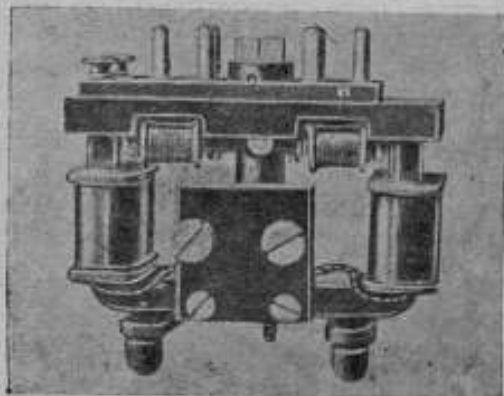


Рис. 1. Рабочая система вибрационного гальванометра.

(чувствительность определена на расхождение изображения на 1 мм при расстоянии шкалы от зеркала 1 метр).

Отчет производится объективным методом. Луч света от лампы накаливания с прямой нитью светящейся нитью отражается на полупрозрачную шкалу от маленького плоского зеркала, укрепленного на подвижной системе (стрелке) гальванометра.

Вся проводка к гальванометру выполнена бифилярно (шнуром). Для защиты от

внешних магнитных полей гальванометр помещен в массивном футляре, сделанном из листового железа. Футляр расположен на тяжелой чугунной плите, в свою очередь помещенной на резиновых подставках; этим

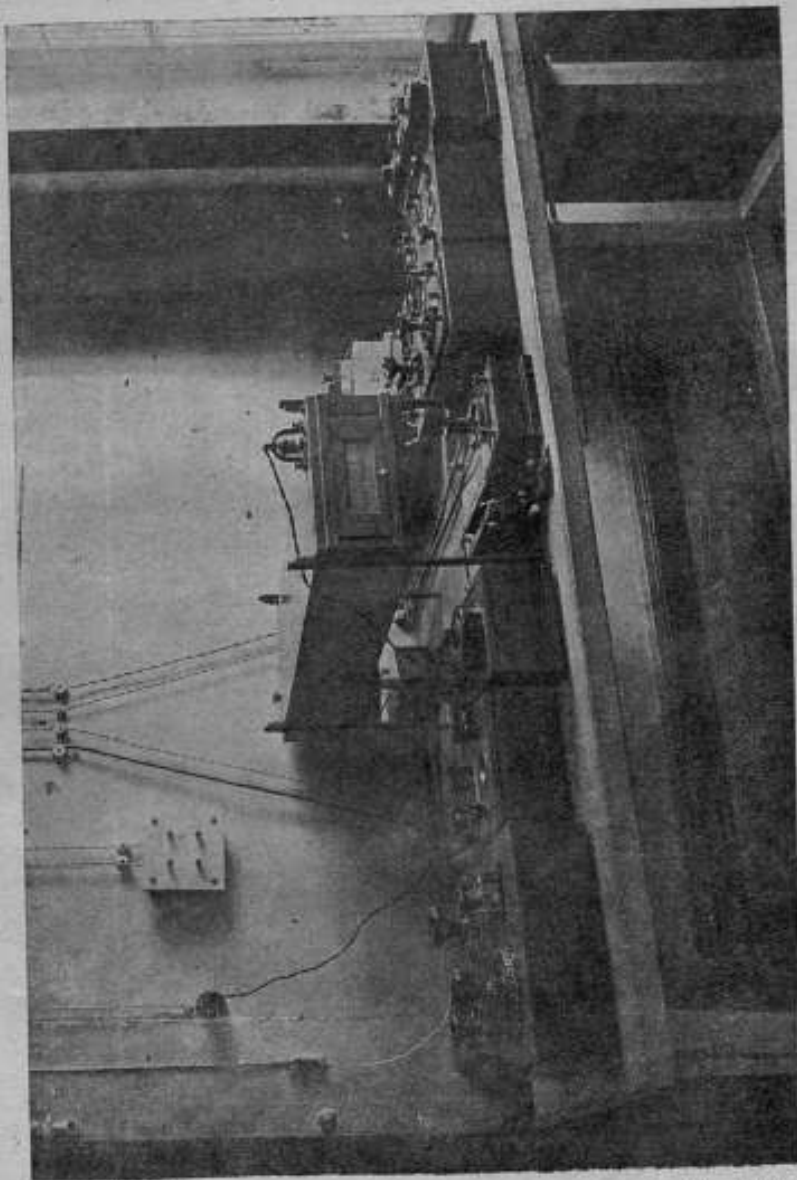


Рис. 2. Общий вид измерительной части прибора Шеринг-Альберти.

способом исключается влияние механических колебаний близких по частоте к периодам настройки.

На рис. 1 изображена фотография рабочей системы вибрационного гальванометра, а на рис. 2 — общий вид измерительной части прибора.

3. Проверка измерительных трансформаторов тока. Включение поверяемого трансформатора тока производится по указанной схеме (рис. 3 и рис. 4).

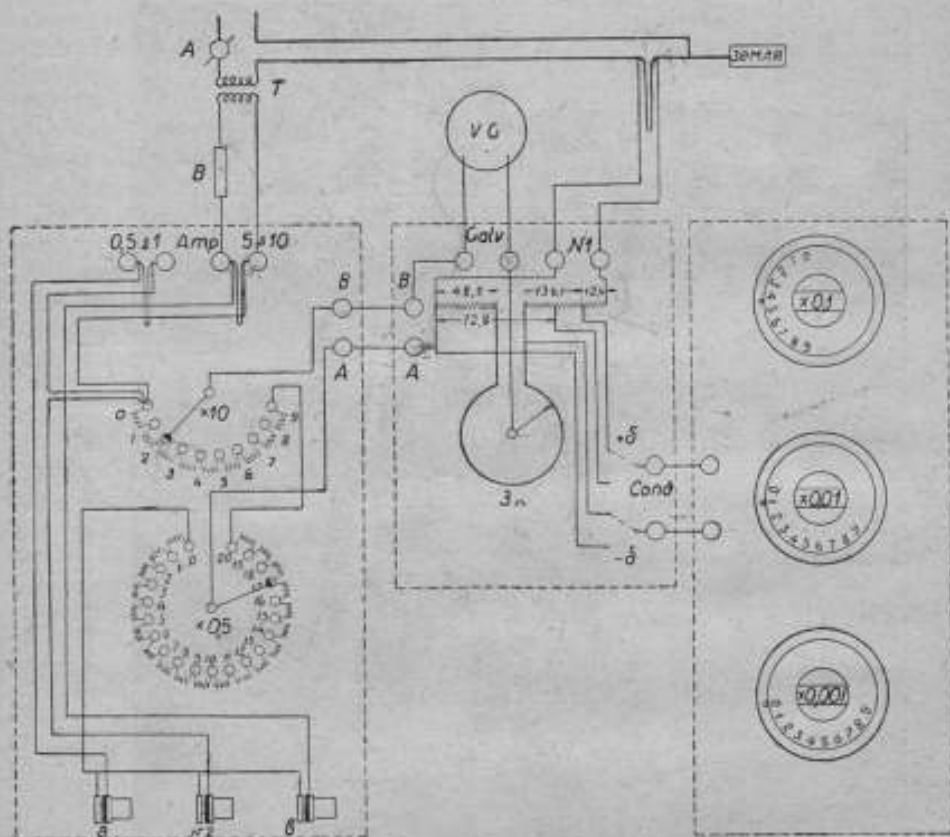


Рис. 3. Подробная схема соединений при проверке измерительных трансформаторов тока.

Ток  $I_1$  проходит первичную обмотку трансформатора  $T$  и безиндукционный шунт  $N_1$ . Первичная цепь заземлена в точке  $E$ . Вторичный ток  $I_2$ , пройдя некоторое сопротивление, создающее жемаемую нагрузку трансформатора (*Burde*), замыкается на другой безиндукционный шунт  $N_2$ . Параллельно  $N_2$  присоединено безиндукционное сопротивление — измерительная ветвь  $R$ , равное 200 омам. Параллельно  $N_2$  присоединен безиндукционный делитель  $W$ , сопротивление которого равно 100 омам. Часть измерительной ветви  $r_1$  присоединяется с одной стороны непосредственно, а с другой — через вибрационный гальванометр  $VG$  в части делителя  $w$ . Величина  $w$  может быть изменяема в пределах от 0,5 до 100 ом. Величина  $r_1$  может быть изменяема перемещением скользящего контакта

в пределах нескольких процентов ( $50 \pm 1,6$  ома). Полная компенсация напряжений наступит не только при равенстве их по величине, но и при полном совпадении их по фазе. Во всех измерительных трансформаторах существует небольшой сдвиг между первичным и перевернутым на  $180^\circ$  вторичным токами, который может быть как положительным (угол между  $I_1$  и  $I_2$  меньше  $180^\circ$ ), так и отрицательным (угол между  $I_1$  и  $I_2$  больше  $180^\circ$ ). Для полной компенсации напряжений при  $r_1$  и  $w$  имеется конденсатор переменной емкости, общая емкость которого равна 0,999 микрофарады и может быть изменяема через 0,001 микрофарады. Этот конденсатор присоединяется к измерительной ветви либо к сопротивлению  $r_2 = 136,1$  ома, в случае отставания первичного тока, либо к  $r_3 = 72,8$  ома (в случае его опережения). В случае особенно большого угла  $\delta$  (более  $99,9$ ) параллельно первому конденсатору может быть присоединен добавочный конденсатор со ступенями емкости: 0,1 — 0,2 — 0,3 — 0,4 микрофарады — общей емкостью в 1,0 микрофараду.

Полная компенсация, обнаруживаемая равновесием подвижной системы гальванометра, достигается последовательной манипуляцией подвижным контактом измерительной ветви и переменной емкостью конденсатора.

Компенсированное напряжение на измерительной ветви (у сопротивления  $r_1$ ):

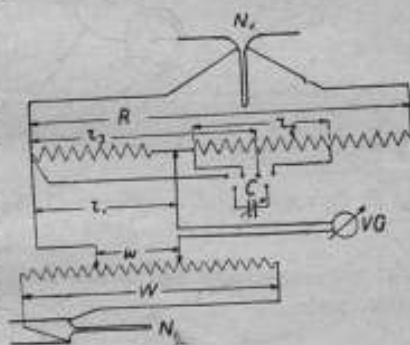


Рис. 4. Приведенная схема соединений при проверке трансформаторов тока.

$$E_1 = I_1 \left( \frac{N_1 R}{N_1 + R} \cdot \frac{r_1}{R} \right) \cos \delta_1$$

компенсирующее его напряжение делителя (на сопротивлении  $w$ ):

$$E_2 = I_2 \left( \frac{N_2 W}{N_2 + W} \cdot \frac{w}{W} \right)$$

При компенсации  $E_1$  равно  $E_2$  и коэффициент трансформации:

$$U = \frac{I_1}{I_2} = \frac{Rw}{r_1 W} \cdot \frac{N_2 W}{N_2 + W} \cdot \frac{N_1 + R}{N_1 R} \cdot \frac{1}{\cos \delta} \dots \dots \dots (1)$$

Введенном конденсатора в ту или иную часть измерительной ветви достигается полная компенсация ( $E_1$  в фазе с  $E_2$ ), и  $\cos \delta$  в выражении (1) становится равным 1.

Однако, в этом случае для получения точного значения  $U$  необходимо принять во внимание емкостное сопротивление  $1/\omega C$ .

При полной компенсации угол сдвига между первичным и вторичным током может быть определен из всех имеющихся величин.

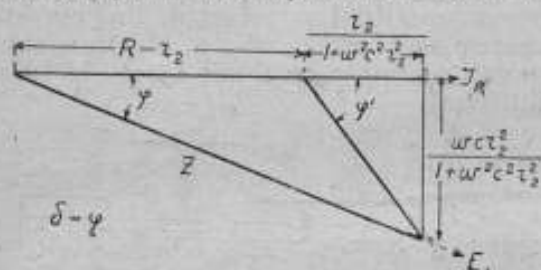
В дальнейшем сделано допущение, что первичный ток  $I_1$  в фазе с током в шунте, благодаря чему получается относительная погрешность в определении угла  $\delta$ , не превышающая 0,1% при применении шунта

$\delta \cos \delta$   
 $\delta / N_2$

на 10 ампер; эта погрешность уменьшается с уменьшением сопротивления шунта и меньше 0,0002% при шунте на 3 000 ампер.

1-й случай ( $\delta$  положительное). Конденсатор присоединен к сопротивлению  $r_2 = 136,1$  ома.

Ток в шунте  $I_1$  в фазе с напряжением  $E$  на зажимах шунта (шунт не индуктивный). Вторичный ток  $I_2$  в фазе с напряжением на концах сопротивления  $r_2$ , которое, в свою очередь, в фазе с полным током, идущим по измерительной ветви. Таким образом угол  $\varphi$  между



током  $I_1$  и напряжением  $E$  равен углу  $\delta$  (рис. 5). Полное сопротивление цепи, параллельной шунту  $N_1$  (при отсутствии тока в гальванометре):

$$Z = (R - r_2) + \frac{1}{y_k},$$

где  $y_k$  — полная проводимость части сопротивления, состоящей из  $r_2$  с параллельно присоединенным конденсатором емкостью  $c$ ;  $g_k$  и  $b_k$  — ее ваттная и безваттная про-

Рис. 5. Векторная диаграмма при поверке трансформаторов тока для случая  $\delta < 180^\circ$ .

водности.

$$y_k = g_k + jb_k; \frac{1}{y_k} = Z_k = \frac{1}{g_k + jb_k} \cdot \frac{g_k - jb_k}{g_k - jb_k} = \frac{g_k - jb_k}{g_k^2 + b_k^2}$$

Но:

$$g_k = 1/r_2; \quad b_k = \omega c; \quad Z_k = \frac{1/r_2 - j\omega c}{1/r_2^2 + \omega^2 c^2} = \frac{r_2 - j\omega c r_2^2}{1 + \omega^2 c^2 r_2^2};$$

$$Z = (R - r_2) + \frac{r_2}{1 + \omega^2 c^2 r_2^2} - \frac{j\omega c_1 r_2^2}{1 + \omega^2 c_1^2 r_2^2}, \quad \text{см. рис. 5.}$$

или

$$Z = \frac{R + (R - r_2) \omega^2 c_1^2 r_2^2}{1 + \omega^2 c_1^2 r_2^2} - \frac{j\omega c_1 r_2^2}{1 + \omega^2 c_1^2 r_2^2} \quad \dots \quad (2)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} \delta = \frac{\omega c_1 r_2^2}{R + (R - r_2) \omega^2 c_1^2 r_2^2} = \frac{\omega c_1 r_2^2}{R \left(1 + \frac{R - r_2}{R} \omega^2 c_1^2 r_2^2\right)} \quad \dots \quad (3)$$

или, при  $c$  выраженном в микрофарадах:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\omega c_1 r_2^2 \cdot 10^{-6}}{R \left(1 + \frac{R - r_2}{R} \omega^2 c_1^2 r_2^2 \cdot 10^{-12}\right)}$$

Величина  $\left(\frac{R - r_2}{R}\right) \omega^2 c_1^2 r_2^2 \cdot 10^{-12}$  весьма мала по сравнению с единицей и может быть отброшена. Тогда  $\delta$  (весьма малый угол):

$$\delta = \frac{\omega c_1 r_2^2 \cdot 180 \cdot 60}{R\pi} \text{ минут.} \quad \text{, где } c_1 \text{ в микрофарадах}$$

Или еще так:



1. Подставляя величины:  $r_2 = 136,1$  ома,  $R = 200$  омам и  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot 50$  при 50 ~, получаем:

$$\delta = \frac{2\pi \cdot 50 \cdot 136,1^2 \cdot 180 \cdot 60 \cdot c}{200 \cdot \pi} \approx 10^8 \cdot c;$$

если  $c_1 = 1$  фард

при  $c$ , выраженном в микрофарадах:

$$\delta = c_1 \cdot 100 \text{ минут.}$$

или  $\delta = 10^8 \cdot c_1$

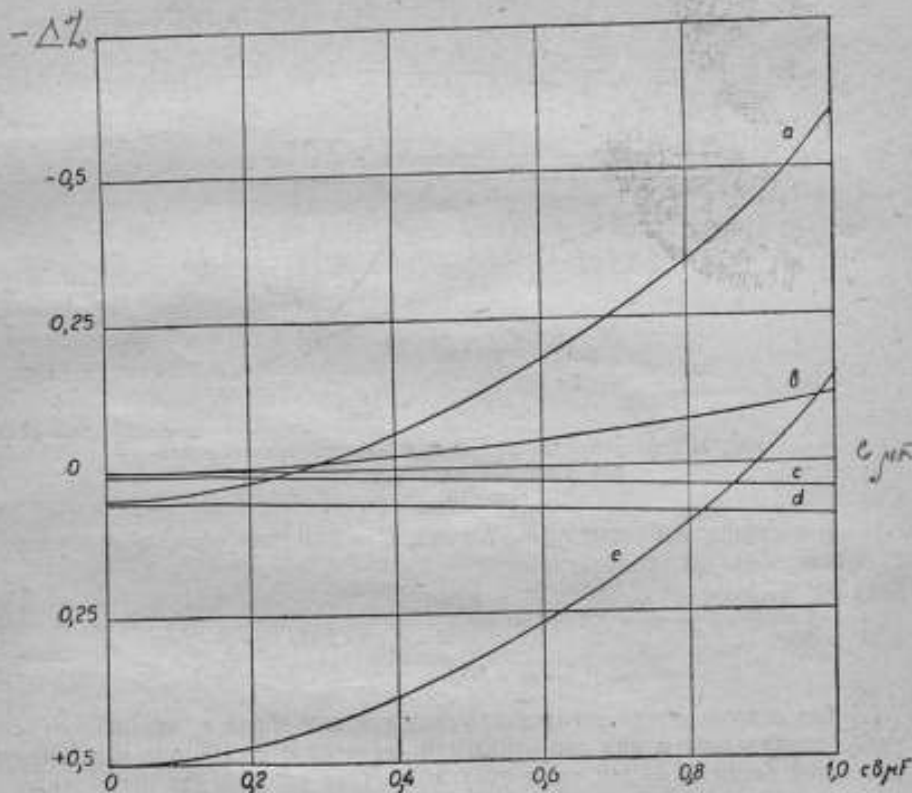


Рис. 6. Кривые погрешностей определения  $\delta$  по упрощенной формуле. (Кривая  $b$  изображена в удвоенном масштабе ординат).

Относительная погрешность  $\Delta$  в определении  $\delta$  по этой упрощенной формуле равна отношению величины  $\frac{R-r_2}{R} \omega^2 c^2 r_2^2 / K$  единице. Подставляя значения  $R$ ,  $r_2$  и  $\omega$  (при 50 ~), находим:

$$\Delta_{\%} = 0,06 c_1^2 \cdot 10^{-12} \text{ - велич. безразм.}$$

где  $c$  выражено в микрофарадах (кривая  $b$  рис. 6).

2. Погрешность  $\delta$  при  $c_1 = 1$  фард =  $\frac{(R-r_2)}{R} \omega^2 c^2 r_2^2 \cdot 10^{-12}}{K} \cdot 10^8 \cdot \frac{1}{60} \cdot 100 \%$

это то же самое, что и в формуле

2-й случай ( $\delta$  отрицательное). Конденсатор присоединен к сопротивлению  $r_3$ . Вторичный ток в фазе с напряжением на концах  $r_1$ , а следовательно, и  $r_3$  (рис. 7). По предыдущему:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega c_2 r_3^2}{R + (R - r_3) \omega^2 c_2^2 r_3^2}; \quad \operatorname{tg} \varphi' = \frac{\omega c_2 r_3^2}{r_3} = \omega c_2 r_3;$$

$$\operatorname{tg} \delta = \operatorname{tg} (\varphi' - \varphi) = \frac{\operatorname{tg} \varphi' - \operatorname{tg} \varphi}{1 + \operatorname{tg} \varphi' \cdot \operatorname{tg} \varphi} = \frac{\omega c_2 r_3 - \frac{\omega c_2 r_3^2}{R + (R - r_3) \omega^2 c_2^2 r_3^2}}{1 + \omega c_2 r_3 \left( \frac{\omega c_2 r_3^2}{R + (R - r_3) \omega^2 c_2^2 r_3^2} \right)} =$$

$$= \frac{\omega c_2 r_3 (R - r_3) (1 + \omega^2 c_2^2 r_3^2)}{R + (R - r_3) \omega^2 c_2^2 r_3^2 + \omega c_2^2 r_3^3} = \frac{\omega c_2 r_3 (R - r_3)}{R} \quad (4)$$

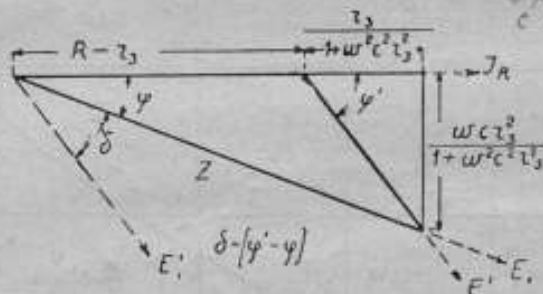


Рис. 7. Векторная диаграмма при поверке трансформаторов тока для случая  $\delta > 180^\circ$ .

Подставляя величины:  $r_3 = 72,8$  ома,  $R = 200$  омам,  $\omega = 2\pi \cdot 50$  и имея  $c_2$  в микрофарадах, получаем:

$$\delta = \frac{\operatorname{tg} \delta \cdot 180 \cdot 60}{\pi} \text{ минут} = \frac{2\pi \cdot 50 \cdot 72,8 (200 - 72,8) \cdot 180 \cdot 60 c_2}{\pi \cdot 200 \cdot 10^6} =$$

$$= 0,5 \cdot c_2 \cdot 100 \text{ минут.} \quad \begin{matrix} \text{мкс} \\ \text{мкс} \end{matrix} \text{ и } C \text{ в мФ.} \\ \text{— верно.}$$

Все сопротивления шунтов подогнаны таким образом, что присоединение параллельно к ним сопротивления делителя  $W = 100$  ома или измерительной ветви  $R = 200$  омам округляет их до удобной для вычисления величины. В этой установке имеются два шунта для замыкания на них вторичного тока: для силы тока  $I_2 = 5-10$  ампер:  $N_2 = 0,1001$  ома и для тока  $I_2 = 0,5-1$  ампер:  $N_2 = 1,001$  ома. В обоих этих случаях:

$$A_2 = \frac{N_2 W}{N_2 + W} = \frac{0,1001 \cdot 100}{0,1001 + 100} = 0,1 \text{ для } N_2 = 0,1001 \text{ ома}$$

и

$$A_2 \approx 1,0 \text{ для } N_2 = 1,001 \text{ ома.}$$

Для шунтов первичного тока:

$$\frac{N_1 R}{N_1 + R} = K, 0,02000 \text{ ома} = A_1.$$

*В формулы K и r\_3 или r\_2 подставить значения!*  
 $\delta$  здесь  $\delta = \varphi' - \varphi$ .

Тогда первоначальная формула принимает упрощенный вид:

$$U = \frac{R \cdot w}{r_1 \cdot W} \cdot \frac{A_2}{A_1} \dots \dots \dots (5)$$

В лаборатории имеются следующие шунты:

*Сколько шунтов с погрешностью, С.*

Для $I_1$	$K$	$N_1$ указ. фирмой	$N_1$ опред. в лаб. пост. тока
До 1 ампера	100	2,0202 ома	—
" 10 "	10	0,2002 "	0,2000 ома
" 30 "	3	0,06002 "	0,06011 "
" 100 "	1	0,020002 "	0,01992 "
" 300 "	0,3	0,006000 "	—
" 1000 "	0,1	0,002000 "	0,002002 "
" 3000 "	0,02	0,000400 "	0,0003996 "

Для каждого шунта и для каждого значения  $U$  необходимо установить на делителе совершенно определенную величину  $w$ , которую определяем, подставляя численные значения (для  $r_1$  среднее значение 50 омов).

Для  $N_2 = 0,1001$  ома ( $A_2 = 0,1$ ):

$$w = \frac{W \cdot r_1 \cdot A_1}{R \cdot A_2} \cdot U = \frac{100 \cdot 50}{200 \cdot 0,1} \cdot A_1 \cdot U = 250 \cdot A_1 \cdot U = 250 \cdot A_1 \frac{I_1}{I_2}$$

при  $I_2 = 5$  амперам:

$$w = 50 \cdot A_1 \cdot I_1 = m I_1;$$

Для  $N_1$  на 1, 10, 100 и 1000 ампер  $m$  соответственно равно 100, 10, 1 и 0,1 ( $N_2 = 0,1001$ ).  $m = 50 A_1$

Для  $N_1$  на 30 и 300 ампер  $m = 3$  и 0,3.

Для  $N_1$  на 3000 ампер  $m = 0,02$ ; как видно, при вторичном токе 5 ампер и при  $N_2 = 0,1001$  множитель  $m = K$  и  $w = K I_1$ .

При установке такого сопротивления  $w$  способ подсчета  $U$  чрезвычайно упрощается (для трансформаторов, у которых  $I_2 = 5$  амперам):

$$U_{\text{действ.}} = \frac{I_1 \cdot 10}{r_1} \quad \text{шунты фирмы Шервиг-Альберти}$$

**4. Определение погрешностей при измерениях на трансформаторах тока.** Все сопротивления были поверены в лаборатории постоянного тока на компенсационном приборе Вольфа с точностью до 0,1%. Определены поправки:  $\Delta R = +0,06\%$ ;  $\Delta r_1 = +0,1\%$ ;  $\Delta W = +0,1\%$ ;  $\Delta w = +0,1\%$ . Поправка для вторичного шунта определена для наиболее ходового на 5—10 ампер ( $N_2 = 0,1001$ ):  $\Delta N_2 = +0,4\%$ , а для первичного на 30 ампер ( $N_1 = 0,06002$ ):  $\Delta N_1 = 0,15\%$ .

Подставляя действительные значения сопротивлений в выражение (1), получаем величину  $U$ , отличающуюся от  $U$  по (5) на 0,2%.

При требовании большей точности кроме этой поправки необходимо принять во внимание погрешность, вызываемую заменой в выражении (1)

величины полного сопротивления  $Z$ , в выражении (2) величиной омического сопротивления  $R$ .

$$Z = \sqrt{\frac{(R + (R - r_2) \frac{\omega^2 c^2 r_2^2}{1 + \omega^2 c^2 r_2^2})^2 + \omega^2 c^2 r_2^4}{(1 + \omega^2 c^2 r_2^2)^2}} =$$

$$= \sqrt{\frac{R^2 \left[ 1 + \left( \frac{R - r_2}{R} \right)^2 \omega^2 c^2 r_2^2 \right]}{1 + \omega^2 c^2 r_2^2}}.$$

1)  $\delta$  положительное:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\omega c r_2^2}{R}; \quad Z = R \frac{\left( 1 + \operatorname{tg}^2 \delta \frac{(R - r_2)^2}{r_2^2} \right)^{1/2}}{\left( 1 + \operatorname{tg}^2 \delta \frac{R^2}{r_2^2} \right)^{1/2}}.$$

Производи действие по способу приближенных вычислений разложением в ряд (так как величины в скобках весьма близки к единице), получаем:

$$Z = R \left( 1 - \frac{2R - r_2}{2r_2} \cdot \operatorname{tg}^2 \delta \right);$$

и поправка, вызываемая заменой  $R$  на  $Z$ , определяется как:

$$\Delta_1 = - \frac{2 \cdot 200 - 136,1}{2 \cdot 136,1} \operatorname{tg}^2 \delta = - 0,966 \operatorname{tg}^2 \delta. \quad \text{Исправление } R$$

2)  $\delta$  отрицательное:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\omega c r_2}{R} (R - r_2) \quad \text{и} \quad Z = R \left[ 1 - \frac{(2R - r_2) r_2}{2(R - r_2)^2} \operatorname{tg}^2 \delta \right] \quad \text{см. (4)}$$

и

$$\Delta_2 = - \frac{(2 \cdot 200 - 72,8) \cdot 72,8}{2 \cdot (200 - 72,8)^2} \operatorname{tg}^2 \delta = - 0,765 \operatorname{tg}^2 \delta.$$

Подставляя значения  $\operatorname{tg} \delta$  (из таблиц для  $\operatorname{tg}$  малых углов), получаем две кривых поправок для обоих случаев, представленных на рис. 8 (кривая  $b$  — поправки при  $\delta > 0^\circ$ , кривая  $c$  — при  $\delta < 0^\circ$ ).

Из кривых видно, что поправка равна  $0,1\%$  при  $\delta = +110'$  и при  $\delta = -125'$ .

Имея выражения для  $U$ :

$$U = \frac{R c N_2 \left( 1 + \frac{N_1}{R} \right)}{r_1 W N_1 \left( 1 + \frac{N_2}{W} \right)} \quad \text{см. (1)}$$

и отбрасывая поправки выражений в скобках, получаем для относительной погрешности измерения:

$$\frac{\Delta U}{U} = \sqrt{\left( \frac{\Delta R \cdot 100}{R} \right)^2 + \left( \frac{\Delta W \cdot 100}{W} \right)^2 + \left( \frac{\Delta r_1 \cdot 100}{r_1} \right)^2 + \left( \frac{\Delta N_1 \cdot 100}{N_1} \right)^2 + \left( \frac{\Delta N_2 \cdot 100}{N_2} \right)^2 + \left( \frac{\Delta N_2 \cdot 100}{N_2} \right)^2 =}$$

$$= \sqrt{0,05^2 + 0,1^2 + 0,1^2 + 0,1^2 + 0,1^2 + 0,1^2} = 0,23\% \quad \text{Квадратный}$$



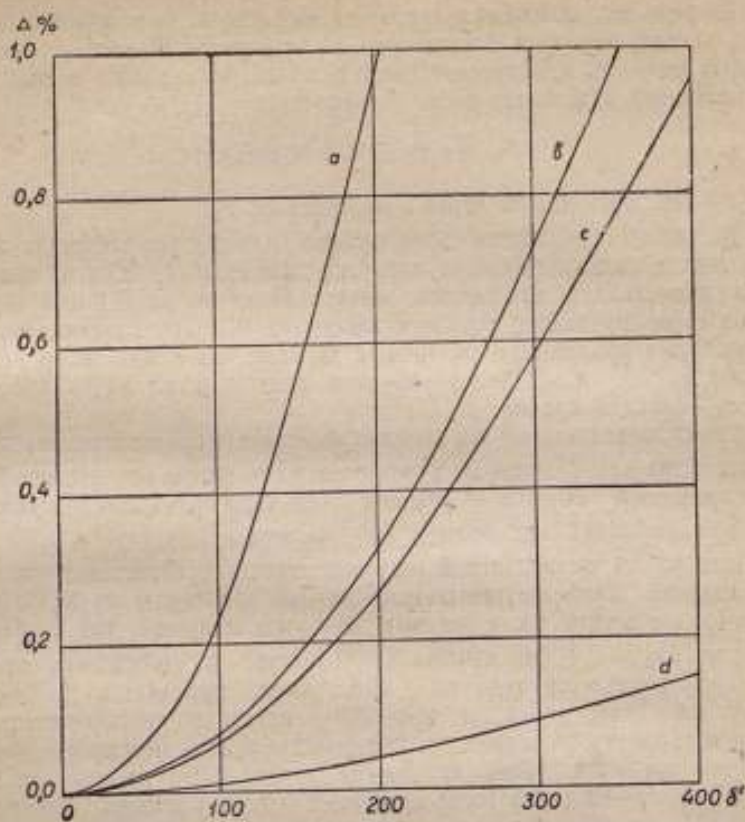


Рис. 8. Кривые погрешностей определяя  $U$  по упрощенной формуле.

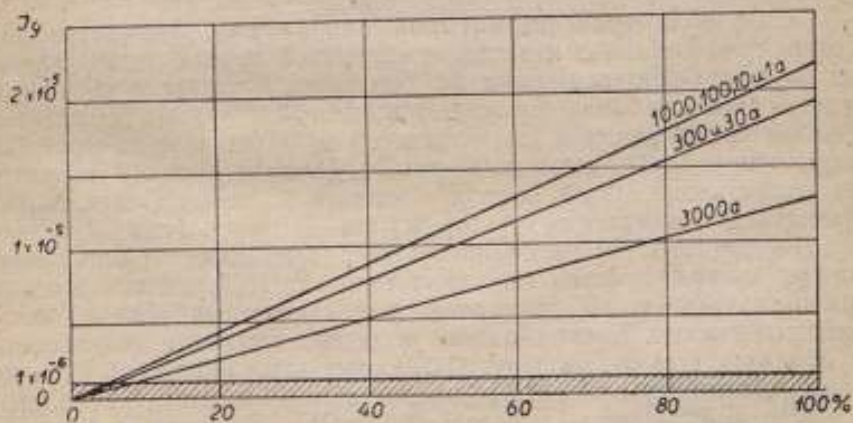


Рис. 9. Кривые зависимости тока в гальванометре от нагрузки шунта при расстройстве компенсации на 0,2%.



Погрешности измерения сопротивлений взяты из измерений лабораторией постоянного тока с точностью до четвертого знака.

Эта точность измерения  $U$  может иметь место лишь в том случае, если вольтная чувствительность гальванометра:

$$\gamma_E > I_{r_1}' \cdot 0,002 r_1,$$

где  $I_{r_1}'$  — ток, проходящий через сопротивление  $r_1$ .

На рис. 9 изображена серия прямых линий, указывающая зависимость тока в гальванометре от нагрузки применяемого шунта, при нарушении компенсации изменением сопротивления  $r_1$  на 0,1 ома (соответственно гарантированной точности измерения 0,2%). Различные кривые соответствуют применению различных шунтов: на 3 000 ампер — нижняя кривая, на 300 и 30 ампер — средняя кривая и на 1 000, 100, 10 и 1 ампер — верхняя кривая.

Линия, параллельная оси абсцисс, показывает предел чувствительности гальванометра ( $10^{-6}$  ампера). Чувствительность метода значительно больше гарантированной точности до тех пор, пока ток, проходящий в гальванометре при  $\Delta r_1 = 0,1$  ома, больше  $10^{-6}$  ампера.

При работе на маленькой нагрузке шунтов чувствительность метода резко падает. Наиболее невыгодный случай при шунте на 3 000 ампер. При нагрузке шунта током равным 10% номинального, ток в гальванометре при  $\Delta r_1 = 0,1$  ома меньше  $10^{-6}$  ампера. К сожалению, при проверке трансформаторов тока на 1 200/5 ампер приходится пользоваться шунтом на 3 000 ампер, и при 20% нагрузке трансформатора мы не можем гарантировать точность измерения в 0,2%. При производстве же измерений на этой точке на другом шунте (300 ампер) вторичный шунт  $N_2$  на 5—10 ампер (сопротивлением 0,1 ома) должен быть заменен шунтом  $N_2$  на 0,5—1 ампер (сопротивлением 1 ом), что изменит нагрузку вторичной обмотки трансформатора (Bürde), а следовательно, и условия его работы.

**5. Проверка трансформаторов напряжения.** Аппаратура для проверки трансформаторов напряжения отличается заменой безиндукционных шунтов безиндукционными же делителями напряжения для напряжений до 4 000 и до 23 000 вольт сопротивлением 50 250 омов и 500 250 омов и особым трансформатором для напряжений до 50 000 вольт на первичном напряжении и до 220 вольт на вторичном. Делители высокого напряжения охлаждаются струей воздуха, подаваемой особым вентилятором. Присоединение поверяемого трансформатора  $T$  производится по схеме рис. 10. Делитель высокого напряжения  $H$  присоединяется параллельно обмотке высокого напряжения поверяемого трансформатора. Делитель низкого напряжения  $W$ , присоединяемый к вторичной обмотке, имеет различные зажимы, соответствующие различным вторичным напряжениям от 500 омов (для 5 вольт) до 22 000 омов (для 220 вольт). Вторые концы обмоток трансформатора присоединяются к земле, так же, как и концы обоих делителей. Параллельно части  $R'$  делителя высокого напряжения, равной 500 омам (со стороны земли), присоединяется так на-

зывается измерительная ветвь  $R$ , омическое сопротивление которой равно также 500 омам.

Таким образом общее сопротивление  $H = (H - R) + R/2 = 49\,750 + \frac{500}{2} = 50\,000$  омам для напряжений до 4 000 вольт или 500 000 омам до напряжений до 23 000 вольт.

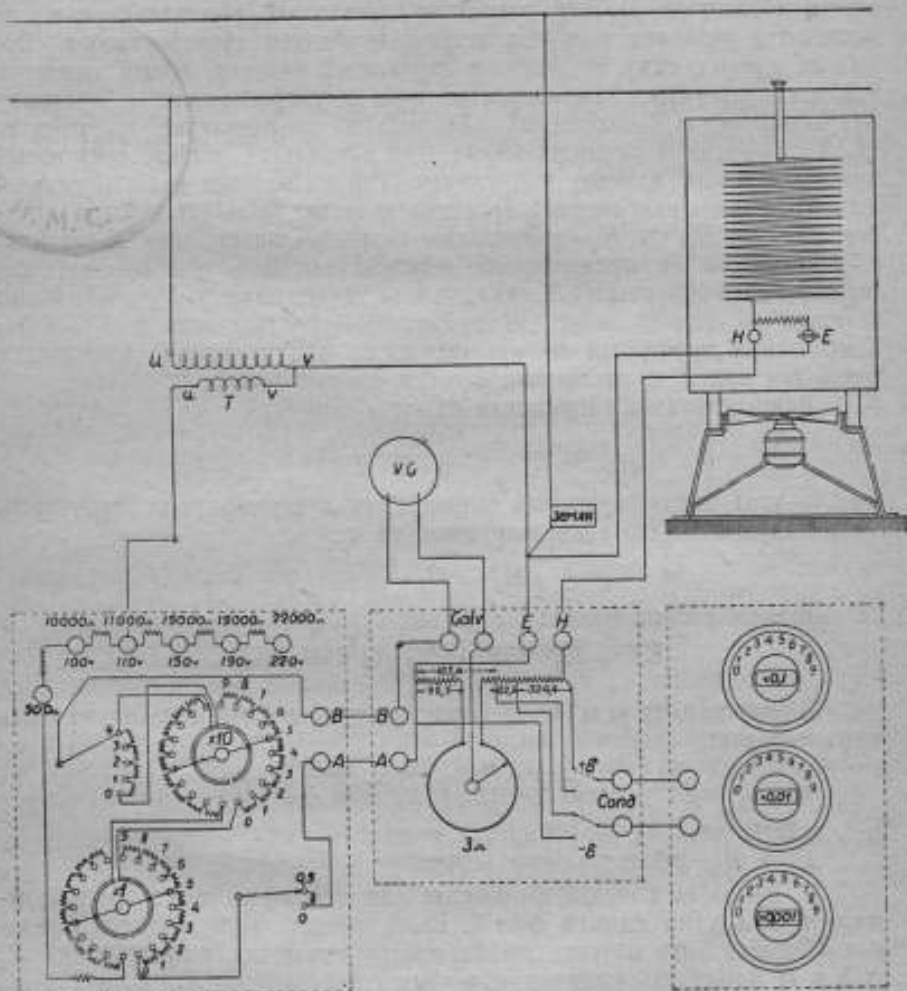


Рис. 16. Подробная схема соединений при проверке трансформаторов напряжением.

Сопротивление  $R$  состоит из ряда особым образом намотанных катушек и особой проволоки сопротивлением в 3 ома, присоединенной к сопротивлению 98,5 ома со стороны земли. Гальванометр  $VG$  присоединяется к скользящему по проволоке контакту. Среднее значение сопроти-

вления на измерительной ветви  $r_1$ , к которому присоединен гальванометр, равное  $(98,5 + \frac{1}{2}) = 100$  омам, может изменяться в пределах от 98,5 ома до 101,5 ома. С другой стороны гальванометр  $VG$  присоединен к подвижному рычажному контакту на делителе низкого напряжения, при чем сопротивление  $w$ , к которому он присоединен, может изменяться через 0,5 ома до 499,5 ома. При изменении  $w$  величина  $W$  не изменится (благодаря особому устройству рычажных реостатов), т.-е. не изменяется величина нагрузки вторичной обмотки трансформатора. Подобный предыдущему конденсатор переменной емкости, общей емкостью 0,999 микрофарды, присоединяется либо к сопротивлению  $r_2$ , равному 304,4 ома (угол  $\delta$  положительный), либо к сопротивлению  $r_3$ , равному 103,4 ома (угол  $\delta$  отрицательный). При правильном выборе сопротивления  $W$  делителя низкого напряжения (100 ом на один вольт номинального вторичного напряжения) величина  $w$  может быть установлена заранее, как  $K \cdot E_1$ , где  $E_1$ —номинальное первичное напряжение.  $K$  различно в зависимости от применяемого делителя высокого напряжения: для делителя до 4000 вольт:  $H$  суммарное = 50 000 омам и  $K = 0,1$ , а для делителя до 23 000 вольт:  $H$  суммарное = 500 000 омам и  $K = 0,01$ . Компенсация достигается последовательными манипуляциями скользящим контактом при  $r_1$  и изменением емкости конденсатора  $c$ .

Компенсированное напряжение на  $r_1$ :

$$E_1'' = E_1 \cdot \frac{R \cdot r_1}{2 \cdot H \cdot R} \cos \delta$$

(где  $\delta$ —угол между первичным напряжением и перевернутым вторичным).

Напряжение его компенсирующее на  $w$ :

$$E_2' = E_2 \cdot \frac{w}{W};$$

В момент компенсации:

$$E_1'' = E_2' \text{ и } E_1 \cdot \frac{r_1}{2H} \cos \delta = E_2 \frac{w}{W}.$$

В виду малости угла  $\delta$  эта формула в упрощенном виде может быть выражена так:

$$E_1 \cdot \frac{r_1}{2H} = E_2 \frac{w}{W} \text{ и } \frac{E_1}{E_2} = \frac{w2H}{Wr_1} = U, \dots \dots \dots (6)$$

т.-е. действительному коэффициенту трансформации.

$E_1$  и  $E_2$ —действительные первичные и вторичные напряжения.

**6. Выводы точной формулы для коэффициента трансформации  $U$  и угла сдвига фаз  $\delta$ .** Более точная формула для определения  $U$  может быть получена, если вместо омических сопротивлений  $R$ ,  $R/2$  и  $H$  подставить выражения полных сопротивлений  $Z_1$ ,  $Z_2$  и  $Z_H$ .

Подставляя эти сопротивления, получаем выражение для  $U$ :

$$U = \frac{w \cdot Z_1 \cdot Z_H}{W \cdot r_1 \cdot Z_2}.$$

Выражения  $Z_1$ ,  $Z_2$  и  $Z_H$  мы находим в символическом виде из рассмотрения схемы на рис. 11<sup>1)</sup>, к которой может быть приравнена схема проверки трансформаторов напряжения (рис. 10) в момент компенсации.

Полное сопротивление:

$$Z_1 = \frac{R + (R-r) \omega^2 c^2 r^2 + j \cdot \omega c r^2}{1 + \omega^2 c^2 r^2} = R_1 + jX_1,$$

где:

$$R_1 = (R-r) + \frac{r}{1 + \omega^2 c^2 r^2} = (R-r) + R_1' = \frac{R + (R-r) \omega^2 c^2 r^2}{1 + \omega^2 c^2 r^2}$$

и

$$X_1 = \frac{\omega c r^2}{1 + \omega^2 c^2 r^2}$$

(обозначения те же, что и в подобных же формулах для трансформаторов тока). Что же касается до выражения для полного сопротивления  $Z_2$  двух параллельно включенных  $R$  с емкостью  $c$  в одном из них, то, в виду

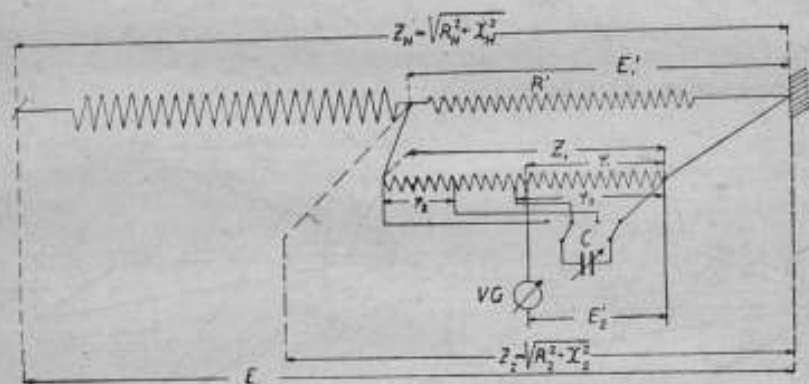


Рис. 11. Приведенная схема соединений при проверке трансформаторов напряжения.

сложности контура, его приходится получать в упрощенном виде, откидывая члены с  $\omega c r$  в степенях выше квадрата. Это упрощение вводит погрешность не более 0,03% (при  $\pm 3$ ) при величине емкости  $c$  равной 1 микрофараде; это значение  $c$  обычно при проверке трансформаторов напряжения не достигается, так как угол  $\beta$  обычно не более  $20^\circ$ .

В упрощенном виде:

$$Z_2 = \frac{R (2 R^2 + \omega^2 c^2 r^2 (8 R^2 - 7 R r + 3 r^2)) + j \omega c r^2 (R^2 + \omega^2 c^2 r^2 (3 R^2 - 2 R r + r^2))}{4 R^2 + \omega^2 c^2 r^2 (16 R^2 - 12 R r + 5 r^2)}$$

или:

$$Z_2 = R_2 + jX_2,$$

где:

$$R_2 = \frac{R (2 R^2 + \omega^2 c^2 r^2 (8 R^2 - 7 R r + 3 r^2))}{4 R^2 + \omega^2 c^2 r^2 (16 R^2 - 12 R r + 5 r^2)}$$

и

$$X_2 = \frac{\omega c r^2 (R^2 + \omega^2 c^2 r^2 (3 R^2 - 2 R r + r^2))}{4 R^2 + \omega^2 c^2 r^2 (16 R^2 - 12 R r + 5 r^2)}$$

1) На рис. 11 ошибочно вместо  $r_1, r_2$  и  $r_3$  поставлено  $r_1, r_2$  и  $r_3$ .

Полное же сопротивление

$$Z_H = Z_2 + \left( H - \frac{R}{2} \right) = \left( H - \frac{R}{2} \right) + (R_2 + jX_2),$$

или:

$$Z_H = R_H + jX_H,$$

где:

$$R_H = \left( H - \frac{R}{2} \right) + R_2 \quad \text{и} \quad X_H = X_2.$$

Здесь  $H$  — принимаемое в расчет сопротивление (50 250 омов или 500 250 омов).

Подставляя вещественные значения  $Z$  и производя действие по способу приближенного вычисления, получаем выражение для коэффициента трансформации:

$$U = \frac{\omega^2 H}{W r_1} \left| 1 - \left[ \frac{H(4Rr - r^2) + B(2Rr - r^2)}{8 \cdot HR^2} \right] \omega^2 c^2 r^2 \right| \quad (7)$$

Определение угла  $\delta$ , по предыдущему, различно для  $\delta < 0$  и  $\delta > 0$ .

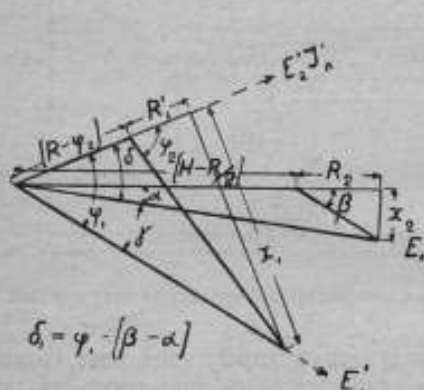


Рис. 12. Векторная диаграмма при проверке трансформаторов напряжения для случая  $\delta$  положительное.

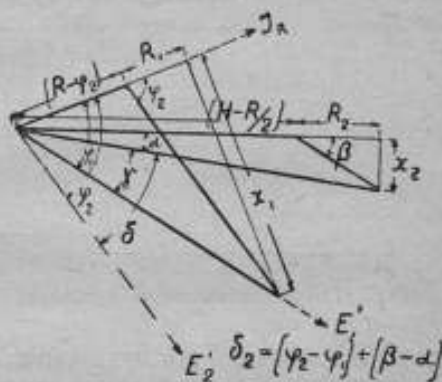


Рис. 13. Векторная диаграмма при проверке трансформаторов напряжения для случая  $\delta$  отрицательное.

В обоих случаях необходимо предварительно найти угол между напряжением  $E_1$  и напряжением на зажимах  $R$  — земля (рис. 12 и 13)<sup>1)</sup>.

Как видно из диаграммы,  $\operatorname{tg} \alpha$ , т.е. тангенс угла между напряжением на части делителя  $\left( H - \frac{R}{2} \right)$  и напряжением на обмотке высокого напряжения трансформатора  $E_1$ , может быть определен из символического обозначения  $Z_H$ :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{X_H}{R_H} = \frac{\omega c r^2}{4H \left( 1 - \frac{4R^2 + 2Rr - r^2}{4HR} \omega^2 c^2 r^2 \right)} \dots (8)$$

<sup>1)</sup> На рис. 12 и 13 ошибочно вместо  $(R - r_2)$  поставлено  $(R - r_1)$ .



Из той же диаграммы угол  $\beta$  между током  $I$  и напряжением на части делителя (так же, как и на измерительной ветви)  $E_1'$  определяется из:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{X_2}{R_2} = \frac{\omega c r^2}{2R \left(1 + \frac{2R^2 - 3Rr + r^2}{2R^2} \omega^2 c^2 r^2\right)} \dots (9)$$

Обозначая угол между  $E_1$  и  $E_1'$  через  $\gamma$ , имеем:

$$\operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg}(\beta - \alpha) = \frac{\omega c r^2 \left(1 - \frac{R}{2H}\right)}{2R \left(1 + \frac{2R^2 - 3Rr + r^2}{2R^2} \omega^2 c^2 r^2\right)} \dots (10)$$

В полученных выражениях для  $\operatorname{tg} \alpha$ ,  $\operatorname{tg} \beta$  и  $\operatorname{tg} \gamma$  отброшены члены со степенями  $c$  выше квадрата, что ведет за собой погрешность не свыше 0,002% при  $c=1$  микрофараде.

Необходимо заметить, что в диаграммах векторов (рис. 12 и 13) для наглядности все величины взяты не в масштабе, иначе, в виду малости углов, линии  $I$  и  $E$  были бы близки к совпадению.

1-й случай ( $\delta$  положительное). Конденсатор присоединен к сопротивлению  $r_2 = r = 304,4$  ома. Гальванометр присоединен вне сопротивления  $r_2$  (рис. 11 и 12).

Вторичное напряжение  $E_2$  в фазе с напряжением на сопротивлении  $\omega$ , вследствие неиндуктивности делителя низкого напряжения, и следовательно, в фазе с напряжением  $E_2'$  на концах части измерительной ветви ( $R - r_2$ ). Угол между  $E_2'$  и  $E_1'$  определяется, как в трансформаторах тока, из выражения (3):

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega c r_2^2 \cdot 10^{-6}}{R + (R - r_2) \omega^2 c^2 r_2^2 \cdot 10^{-12}}.$$

А так как, в свою очередь, угол между  $E_1$  и  $E_1'$  уже найден (10), то:

$$\operatorname{tg} \delta = \operatorname{tg}(\varphi - \gamma) = \frac{\omega c r_2^2 \cdot 10^{-6}}{2R + (2R - r_2) \omega^2 c^2 r_2^2 \cdot 10^{-12}} + \frac{\omega c r_2^2 \cdot 10^{-6}}{4H \left(1 + \frac{4R^2 - 5Rr_2 + 2r_2^2}{2R^2} \omega^2 c^2 r_2^2 \cdot 10^{-12}\right)} \dots (11)$$

В виду малости угла  $\delta$ , а следовательно, весьма малых значений емкости  $c$  (обычно  $\delta$  не больше 20 минут), члены уравнения с  $c^2$  могут быть отброшены, что дает ошибку  $< 0,7\%$  при  $c$  равном 1 микрофараде, и выражение для  $\operatorname{tg} \delta$  принимает вид:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\omega c r_2^2 \cdot 10^{-6}}{2R} + \frac{\omega c r_2^2 \cdot 10^{-6}}{4H}.$$

Отбрасывая также и второй член этого выражения, что дает постоянную относительную погрешность в 0,5% при  $H=50\,250$  омам и 0,05% при  $H=500\,250$  омам, и считая  $\delta = \operatorname{tg} \delta$ , получаем:

$$\delta = \frac{\omega c r_2^2}{2R}$$

в радианах, или в минутах:

$$\delta = \frac{\omega c r_2^2}{2R} \cdot \frac{180 \cdot 60}{\pi} = \frac{2\pi \cdot f \cdot 304,4^2 \cdot 180 \cdot 60}{2 \cdot 500 \cdot \pi} \cdot c \cdot 10^{-6} = 100 \frac{f}{50} \cdot c,$$

где  $c$  выражено в микрофарадах. При измерениях на 50 периодах  $\delta = 100 c$ , т.е. измеряется сотыми долями микрофарады.

2-й случай ( $\delta$  отрицательное). Конденсатор присоединен к сопротивлению  $r_2 = r = 103,4$  ома (рис. 11).

Точка присоединения гальванометра находится внутри сопротивления  $r_2$ . Напряжение на подвижном контакте  $r_1$ , а следовательно, и вторичное напряжение  $E_2'$ , в фазе с напряжением на конденсаторе  $E_k$  (рис. 13). Угол  $\varphi'$  между  $E_k$  и  $E_2'$  определяется по предыдущему (как в трансформаторах тока):

$$\operatorname{tg} \varphi' = \operatorname{tg}(\varphi_2 - \varphi_1) = -\frac{\omega c r_2 (R - r_2)}{R}.$$

Тогда (рис. 13):

$$\operatorname{tg} \delta' = \operatorname{tg}(\gamma + \varphi') = -\frac{\omega c r_2 (2R - r_2)}{2R \left(1 + \frac{Rr_2 - r_2^2}{2R^2} \omega^2 c^2 r_2^2\right)} + \frac{\omega c r_2}{4H \left(\frac{R - r_2}{R} \omega^2 c^2 r_2^2\right)} \dots \dots \dots (12)$$

Упрощая по предыдущему это выражение и приравнявая, в виду малости угла,  $\operatorname{tg} \delta = \delta$ , имеем  $\delta$  в минутах:

$$\begin{aligned} \delta &= \omega c r_2 \left(\frac{2R - r_2}{2R}\right) \cdot 10^{-6} = \\ &= 2\pi f \cdot 103,4 \cdot \frac{2 \cdot 500 - 103,4}{2 \cdot 500} \cdot \frac{180 \cdot 60}{\pi} = 100 c \frac{f}{50} \text{ минут,} \end{aligned}$$

где  $c$  попрежнему выражено в микрофарадах.

При  $f = 50$ ,  $\delta = 100 c$ , т.е. равно прочитанному на конденсаторе числу сотых долей микрофарад.

**7. Определения погрешностей при измерениях на трансформаторах напряжения.** Имея упрощенные выражения для  $\operatorname{tg} \delta$ , возможно выразить погрешность определения коэффициента трансформации от введения упрощенной формулы.

1-й случай ( $\delta$  положительное):

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\omega c r_2^2}{2R}$$

$$\Delta_1 = - \left[ \frac{H(4Rr_2 - r_2^2) + R(2Rr_2 - r_2^2)}{2Hr_2^2} \right] \operatorname{tg}^2 \delta.$$

Подставляя численные значения, получаем:

$$\Delta = -2,816 \operatorname{tg}^2 \delta \text{ при } H = 50 \text{ 250 омам}$$

и

$$\Delta' = -2,802 \operatorname{tg}^2 \delta \text{ при } H = 500 \text{ 250 омам.}$$

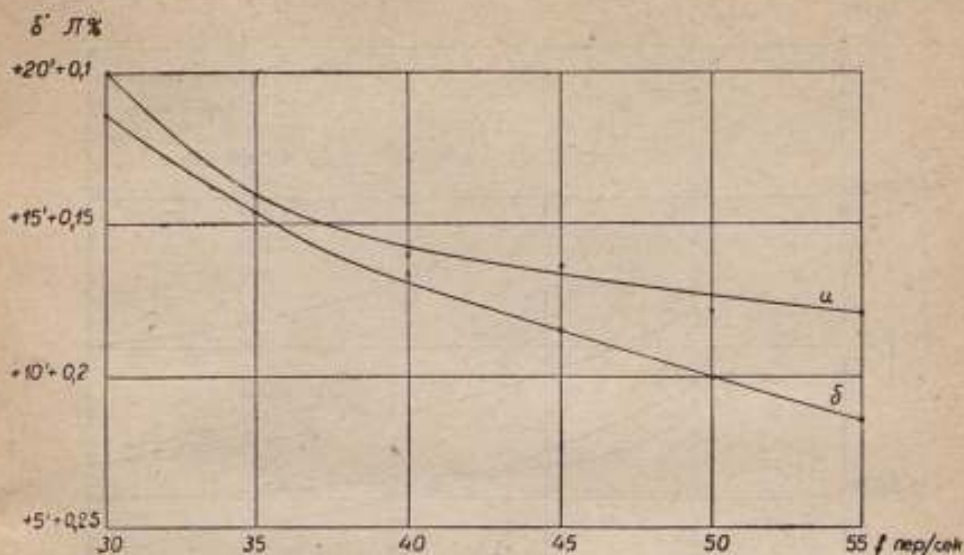


Рис. 14. Кривые зависимости погрешности коэффициента трансформации (П%) и угла  $\delta$  от изменения частоты в точном измерительном трансформаторе тока Сименс и Гальске № 872008 на 600/5 ампер при  $I_2 = 100\%$ .

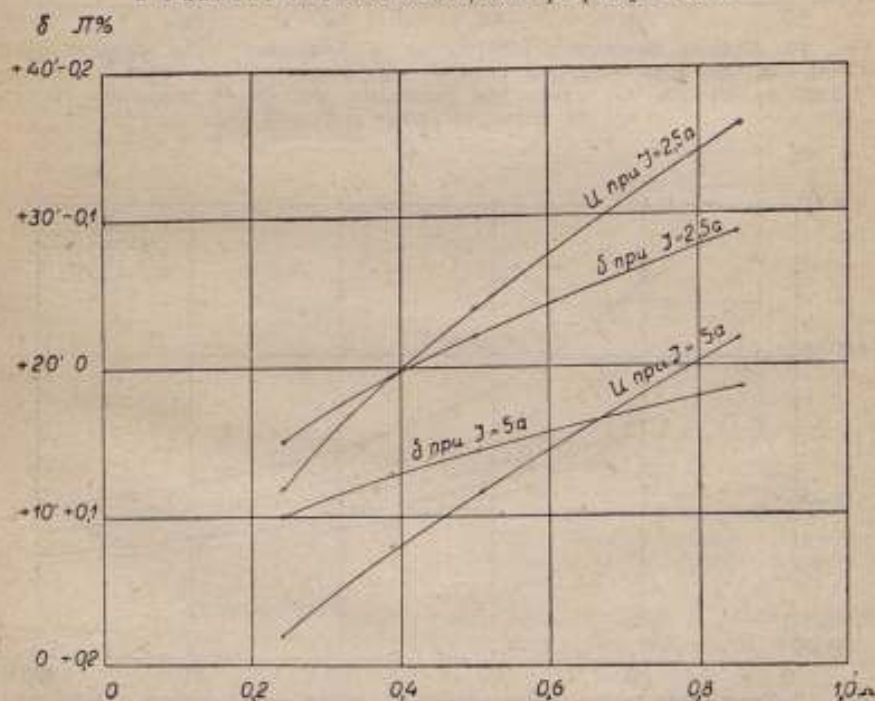


Рис. 15. Кривые зависимости погрешности коэффициента трансформации (П%) и угла  $\delta$  от wattной нагрузки вторичной обмотки точного измерительного трансформатора тока Сименс и Гальске № 872008 на 600/5 ампер.



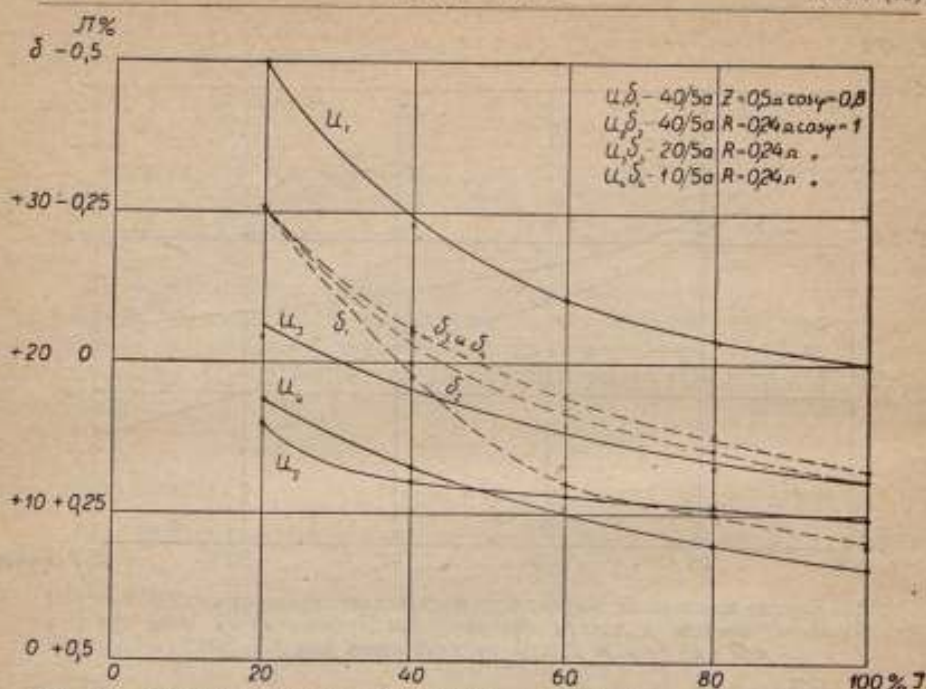


Рис. 16. Кривые зависимости погрешности коэффициента трансформации (П%) и угла  $\delta$  от силы тока вторичной обмотки трансформатора тока фирмы Weston № 3227 на 40—20—10/5 ампер при различных соединениях первичной обмотки и при различных нагрузках вторичной цепи.

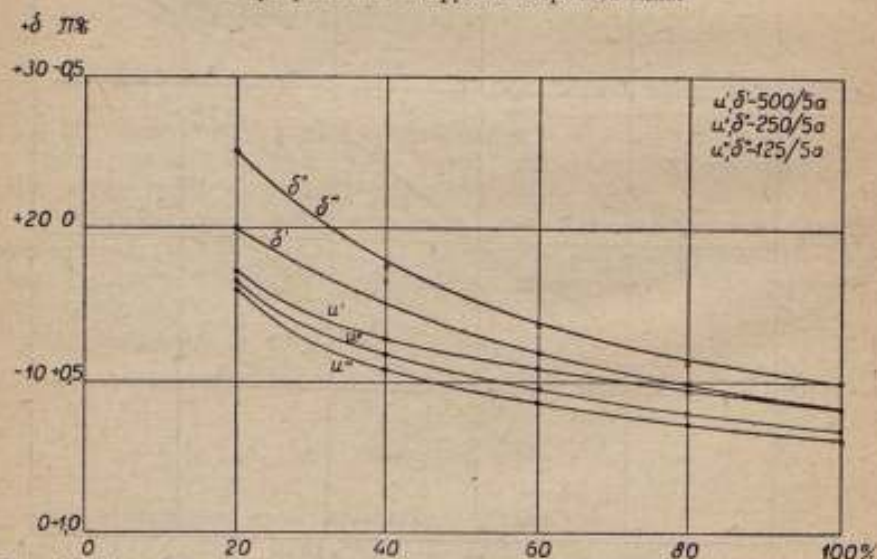


Рис. 17. Кривые зависимости погрешности коэффициента трансформации (П%) и угла  $\delta$  от силы тока вторичной обмотки трансформатора тока фирмы Koch & Sterzel № 110202 на 500—250—125/5 ампер при различных соединениях первичной обмотки.

2-й случай ( $\delta$  отрицательное):

$$\operatorname{tg} \delta = -\omega c r_3 \left( \frac{2R - r_3}{2R} \right),$$

$$\Delta = -\frac{H(4Rr_3 - r_3^2) + R(2Rr_3 - r_3^2) \operatorname{tg}^2 \delta}{2H(2R - r_3)^2} \operatorname{tg}^2 \delta.$$

Подставляем численные значения:

$$\Delta = -0,1225 \operatorname{tg}^2 \delta \text{ при } H = 50 \text{ 250 омам}$$

и

$$\Delta = -0,1220 \text{ при } H = 500 \text{ 250 омам.}$$

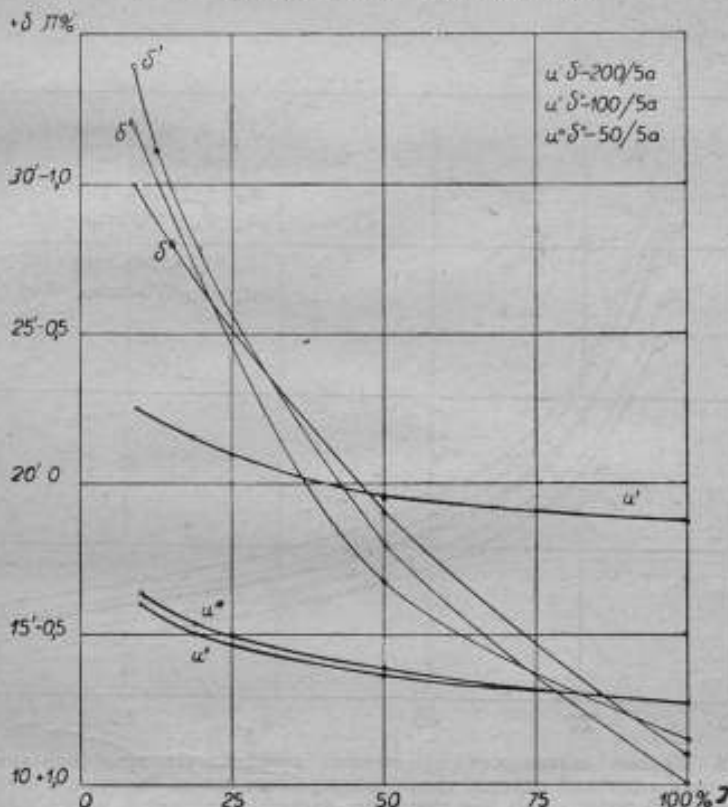


Рис. 18. Кривые зависимости погрешности коэффициента трансформации (П%) и угла  $\delta$  от силы тока вторичной обмотки трансформатора тока фирмы Weston № 3798 на 200—100—50/5 ампер при различных соединениях первичной обмотки.

На рис. изображены кривые поправок к величине  $U$ , полученной по упрощенной формуле, в зависимости от угла  $\delta$ . Кривая  $a$  соответствует  $\delta > 0$  и кривая  $d$  соответствует  $\delta < 0$ .

На рис. 6 указаны относительные погрешности определения  $\delta$  по упрощенной формуле. (Кривые:  $a$  для  $\delta > 0$  и  $H = 500 \text{ 250 омам}$ ,



$e$  для  $\delta > 0$  и  $H = 50\ 250$  омам,  $d$  для  $\delta < 0$  и  $H = 50\ 250$  омам и  $c$  для  $\delta < 0$  и  $H = 500\ 250$  омам).

Величины всех сопротивлений определены в лаборатории постоянного тока на компенсационном аппарате с точностью до четвертого знака.

Имея выражение для  $U$ :

$$U = \frac{w \cdot 2H}{W \cdot r_1},$$

получаем для относительной погрешности измерения:

$$\frac{\Delta U}{U} = \sqrt{\left(\frac{\Delta w}{w} \cdot 100\right)^2 + \left(\frac{\Delta W}{W} \cdot 100\right)^2 + \left(\frac{\Delta H}{H} \cdot 100\right)^2 + \left(\frac{\Delta r_1}{r_1} \cdot 100\right)^2}.$$

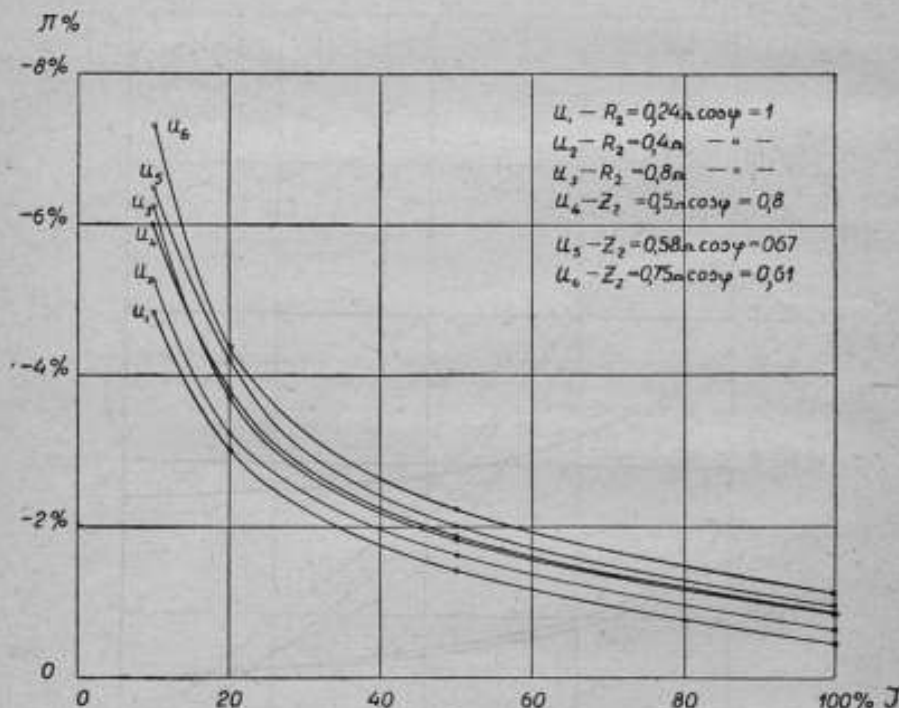


Рис. 19. Кривые зависимости погрешности коэффициента трансформации ( $P\%$ ) от силы тока вторичной обмотки трансформатора тока завода Электроаппарат № 27380 на 200/5 ампер при различных нагрузках вторичной цепи.

Подставляя значения погрешностей измерения для частного случая поверки трансформатора напряжения 6 600/110 вольт:  $H = 500\ 250$  омам,  $W = 11\ 000$  омам,  $w = 66$  омам и  $r_1 = 100$  омам (среднее значение), имеем относительную точность измерения:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta U}{U} &= \sqrt{\left(\frac{0,01 \cdot 100}{66}\right)^2 + \left(\frac{10 \cdot 100}{11\ 000}\right)^2 + \left(\frac{500 \cdot 100}{500\ 250}\right)^2 + \left(\frac{0,1 \cdot 100}{100}\right)^2} = \\ &= 0,17\% \cong 0,2\%. \end{aligned}$$

Точность измерения  $H$  принята в 0,1%, так как лаборатория постоянного тока гарантирует лишь такую точность измерения больших сопротивлений.

По предыдущему относительная точность измерения имеет это значение лишь в том случае, если ток в гальванометре при изменении переменной величины в выражении  $U$ , т.е.  $r_1$ , на 0,2% не ниже его токовой чувствительности. При проверке трансформаторов напряжения с этим значительно благополучнее, чем при проверке трансформаторов

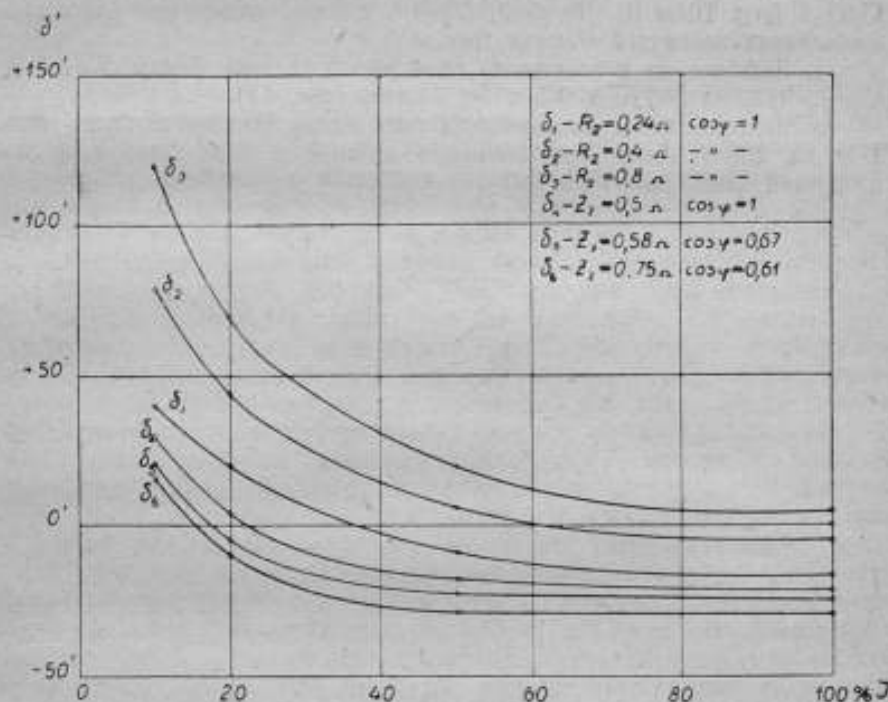


Рис. 20. Кривые зависимости угла  $\delta$  от силы тока вторичной обмотки трансформатора тока завода Электроаппарат № 27360 на 200/5 ампер при различных нагрузках вторичной цепи.

тока, так как в гальванометре проходит значительно больший ток, и ток равный  $1 \times 10^{-6}$  ампера (токовая чувствительность гальванометра) при расстройстве компенсации на 0,2% будет лишь при приложенном на зажимах делителя напряжения равном 0,0001 номинального.

**8. Некоторые измерения, произведенные на аппарате Шеринг-Альберти.** Из большого количества работ, произведенных в лаборатории переменного тока на аппарате Шеринг-Альберти, желательно отметить некоторые, имеющие большой практический интерес.

1. Исследование точного трансформатора тока фирмы Сименс и Гальске, типа Mtr-7c, на 600/5 и 1200/5 ампер. Произведено исследование влияния на величину коэффициента трансформации и угла сдвига изменения числа периодов и изменения ваттной нагрузки вторичной цепи (рис. 14 и 15).

2. Исследование точного трансформатора тока фирмы Вестон, типа M-312, на 40—20—10/5 ампер при изменении ваттной и безваттной нагрузки вторичной цепи (рис. 16).

3. Исследование трансформатора тока фирмы Кох и Штерцель, Klasse E form TCJss III, на 500/5 200/5 и 125/5 ампер при различных соединениях первичной обмотки (рис. 17).

4. Подобное же исследование трансформатора тока фирмы Вестон, модель 312, на 200/5, 100/5 и 50/5 ампер (рис. 18).

5. Исследование трансформатора тока завода Электро-аппарат, типа T-7, на 200/5 ампер при изменении ваттной и безваттной нагрузки вторичной цепи (рис. 19 и 20).

## ИДЕАЛЬНАЯ КРИВАЯ НАМАГНИЧЕНИЯ, КАК РЕЗУЛЬТАТ ОБЫЧНЫХ ГИСТЕРЕЗИСНЫХ ЦИКЛОВ.

Б. М. Яновский.

Идеальная или безгистерезисная кривая намагничения, как показывает само название, должна выражать зависимость индукции материала или интенсивности намагничения от величины намагничивающего поля в отсутствие гистерезиса материала. Метод получения «идеальной кривой» для любого ферромагнитного материала, как и сам термин, был дан Steinhaus'ом и E. Gumlich'ом в 1915 г. <sup>1)</sup>

Еще много раньше было известно, что некоторые факторы вызывают увеличение магнитной индукции материала при намагничивании его постоянным полем и тем самым как бы уменьшают гистерезис. Так, например, в 1891 г. Gerosa и Funzi <sup>2)</sup> наблюдали увеличение индукции стальных проволок при намагничивании их постоянным полем, когда одновременно по ним пропускался переменный ток. Такое же увеличение индукции обнаруживается при намагничивании любого ферромагнитного тела, подвергающегося механическим ударам <sup>3)</sup>. Отсюда и возникла мысль, что быстрые механические или электромагнитные (путем переменного тока) сотрясения молекул вызывают уменьшение гистерезиса и в некоторых случаях могут даже совершенно уничтожить его.

Такой метод полного уничтожения гистерезиса и был разработан Steinhaus'ом и Gumlich'ом, путем наложения на постоянное поле переменного с убывающей до нуля амплитудой. Для этого Steinhaus и Gumlich пользовались двумя concentрическими катушками, внутри которых помещался исследуемый образец. По одной из катушек пропускался постоянный намагничивающий ток, а по другой—переменный (60 периодов в сек.), сила которого равномерно уменьшалась до нуля, при этом необходимо, чтобы начальная амплитуда переменного поля была значительно больше величины постоянного поля. Получаемая таким образом идеальная или безгистерезисная кривая имеет вид, представленный на рис 1. Из этого рисунка видно, что идеальная кривая идет значительно выше основной кривой намагничения, особенно при малых полях.

Многие авторы в настоящее время считают, что идеальная кривая, при исследовании свойств ферромагнитных материалов, имеет такое же значение, как основная кривая намагничения и гистерезисный шлейф,

<sup>1)</sup> W. Steinhaus и E. Gumlich, Verh. d. Deut. Phys. Ges. т. 15 стр. 369, 1915.

<sup>2)</sup> G. Gerosa и W. Funzi, Rendic. del. R. Inst. Lombardo, т. 24, 1891

<sup>3)</sup> Ewing, Magnetic induction in iron, 3-e изд. London, 1900.

так как побазывает зависимость намагничения от величины намагничивающего поля в отсутствии такого затемняющего фактора, как гистерезис.

Настоящая работа имеет целью показать, что идеальная кривая, получаемая по методу Steinhaus'a и Gumlich'a, есть непосредственный результат обычных законов намагничивания, даваемых нам в виде гистерезисных кривых.



Рис. 1.

Переменный ток вызывает переменное поле, под влиянием которого индукция периодически изменяет свою величину по известной гистерезисной кривой. Когда постоянное поле равно нулю, переменный ток, с убывающей до нуля амплитудой, вызывает, как известно, полное размагничивание образца, т. е. в результате индукции получается равной нулю. В этом случае гистерезисные кривые представляют кривые симметричные относительно начала координат. Если же переменное поле наложено на постоянное, то гистерезисные циклы будут смещены в сторону положительных абсцисс на величину постоянного поля, вследствие чего появится асимметрия их относительно оси координат. В результате такой асимметрии, вследствие своеобразного вида гистерезисной кривой, произойдет смещение циклических кривых и относительно оси абсцисс. Поэтому конечная точка при таком процессе должна лежать значительно выше оси абсцисс.

Так как математическая зависимость между интенсивностью намагничения и намагничивающим полем до сих пор неизвестна, то единственным доказательством правильности такого взгляда на этот процесс является экспериментальное построение всех циклических кривых.



Для этой цели мною был взят образец нормальной вольфрамовой стали, в форме полосы длиной 400 мм с прямоугольным сечением  $20 \times 8$  мм, который и был подвергнут подобному намагничиванию. Обычный переменный ток в 50 периодов был заменен постоянным током, направление которого изменялось при помощи переключателя. Такая замена принципиально не должна вызывать никаких изменений в конечном результате, если только скорость процесса намагничивания в материале превышает скорость изменений намагничивающего тока, т. е. в данном случае больше

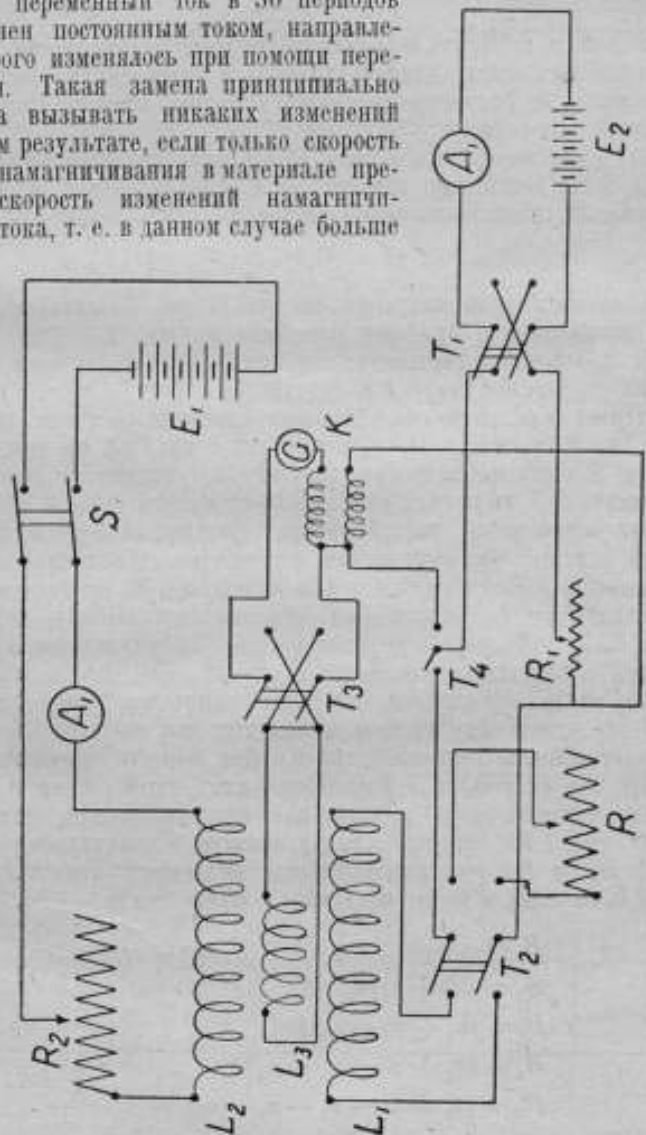


Рис. 2. Схема расположения приборов.

$\frac{1}{50}$  секунды. Это условие, согласно всех имеющихся экспериментальных данных о намагничивании, можно считать вполне вероятным.

Постоянное поле создавалось катушкой  $L_2$  (рис. 2) навитой непосредственно на образец и состоявшей из двух рядов проволоки с общим

числом витков  $n = 652$ . Величина этого поля  $h$  в центре катушки вычислялась по формуле:

$$h = \frac{0,4 \pi n i}{l} = 25,4 \cdot i$$

где  $i$ —сила тока в амперах, а  $l$ —длина обмотки в сантиметрах. В виду большого отношения между длиной катушки и ее сечением, поправочные члены, зависящие от размагничивающего влияния концов катушки, не принимались во внимание.

Для получения переменного поля  $H$  служила катушка пермеаметра, поле которой было достаточно равномерно и точно известно из специальных исследований, производившихся ранее:

$$H = 93,76 \cdot i.$$

Измерения магнитной индукции производились баллистическим методом. Схема расположения приборов помещена на рис. 2.

Процесс наблюдения гистерезисных циклов при наложении переменного поля на постоянное состоял в следующем.

Испытуемый образец размагничивался переменным током по методу Gumlisch'a и Rogowsky<sup>1)</sup> и помещался с навитой на нем обмоткой в пермеаметр. В намагничивающую катушку  $L_2$  включился постоянный ток соответствующей силы для создания постоянного поля  $h$  и замечался отброс  $\alpha_1$  баллистического гальванометра, вызванный появлением тока во вторичной катушке  $L_3$ . Этот отброс соответствовал величине магнитной индукции, вызванной постоянным полем катушки. В продолжение всего опыта ток в катушке  $L_2$  должен был оставаться постоянным, поэтому для питания его была включена отдельная батарея аккумуляторов  $E_1$ . Далее включался ток в катушку пермеаметра  $L_1$ , такой силы, чтобы создаваемое им поле было около 300 гауссов, и снова замечался отброс гальванометра  $\alpha_2$ . После успокоения гальванометра этот ток выключался и опять наблюдалось отклонение гальванометра  $\alpha_3$ . При помощи переключателя  $T_1$  тот же самый ток включался в противоположном направлении и производились отчеты гальванометра  $\alpha_4$  и  $\alpha_5$  как при включении, так и при выключении его. Из отчетов гальванометра получались значения  $B_1, B_2, B_3, B_4$  и  $B_5$ , соответствовавшие значениям магнитного поля  $h, h + 300, h, h - 300$  и  $h$ , из следующих вычислений:

$$\begin{aligned} B_1 &= \alpha_1 \cdot k \\ B_2 &= (\alpha_1 + \alpha_2) k \\ B_3 &= (\alpha_1 + \alpha_2 - \alpha_3) k \\ B_4 &= (\alpha_1 + \alpha_2 - \alpha_3 - \alpha_4) k \\ B_5 &= (\alpha_1 + \alpha_2 - \alpha_3 - \alpha_4 + \alpha_5) k \end{aligned}$$

где  $k$ —постоянная баллистического гальванометра, определявшаяся при помощи эталонной катушки. По окончании этой операции, предста-

<sup>1)</sup> Gumlisch и Rogowsky, Ann. der Phys. т. 34 стр. 245, 1911.

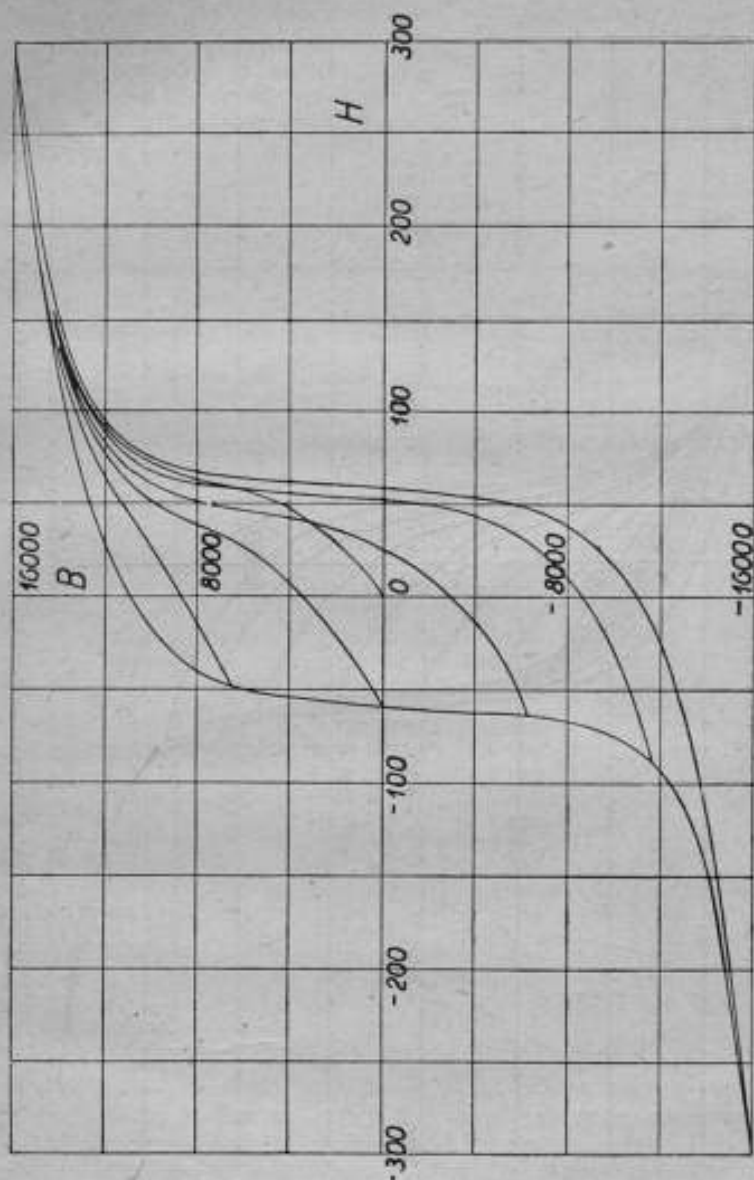


Рис. 3. Основные кривые намагничивания, гистерезисный шлейф и обратный ход гистерезисных кривых.

включающей неоконченный гистерезисный цикл, ток переключателем  $T_2$  переключался на сопротивление  $R$ , которое было подобрано равным сопротивлению пермеаметра  $L_1$ . При помощи реостата  $R_1$  ток в цепи уменьшался до желаемой величины, переключатель  $T_2$  снова включался на пермеаметр  $L_1$  и наблюдения повторялись в том же порядке, за исклю-

числом витков  $n = 652$ . Величина этого поля  $h$  в центре катушки вычислялась по формуле:

$$h = \frac{0,4 \pi n i}{l} = 25,4 \cdot i$$

где  $i$ —сила тока в амперах, а  $l$ —длина обмотки в сантиметрах. В виду большого отношения между длиной катушки и ее сечением, поправочные члены, зависящие от размагничивающего влияния концов катушки, не принимались во внимание.

Для получения переменного поля  $H$  служила катушка пермеаметра, поле которой было достаточно равномерно и точно известно из специальных исследований, производившихся ранее:

$$H = 93,76 \cdot i.$$

Измерения магнитной индукции производились баллистическим методом. Схема расположения приборов помещена на рис. 2.

Процесс наблюдения гистерезисных циклов при наложении переменного поля на постоянное состоял в следующем.

Испытуемый образец размагничивался переменным током по методу Gumlich'a и Rogowsky<sup>1)</sup> и помещался с навитой на нем обмоткой в пермеаметр. В намагничивающую катушку  $L_2$  включился постоянный ток соответствующей силы для создания постоянного поля  $h$  и замечался отброс  $\alpha_1$  баллистического гальванометра, вызванный повышением тока во вторичной катушке  $L_3$ . Этот отброс соответствовал величине магнитной индукции, вызванной постоянным полем катушки. В продолжение всего опыта ток в катушке  $L_2$  должен был оставаться постоянным, поэтому для питания его была включена отдельная батарея аккумуляторов  $E_1$ . Далее включался ток в катушку пермеаметра  $L_1$ , такой силы, чтобы создаваемое им поле было около 300 гауссов, и снова замечался отброс гальванометра  $\alpha_2$ . После успокоения гальванометра этот ток выключался и опять наблюдалось отклонение гальванометра  $\alpha_3$ . При помощи переключателя  $T_1$  тот же самый ток включался в противоположном направлении и производились отчеты гальванометра  $\alpha_4$  и  $\alpha_5$  как при включении, так и при выключении его. Из отчетов гальванометра получались значения  $B_1, B_2, B_3, B_4$  и  $B_5$ , соответствовавшие значениям магнитного поля  $h, h + 300, h, h - 300$  и  $h$ , из следующих вычислений:

$$B_1 = \alpha_1 \cdot k$$

$$B_2 = (\alpha_1 + \alpha_2) k$$

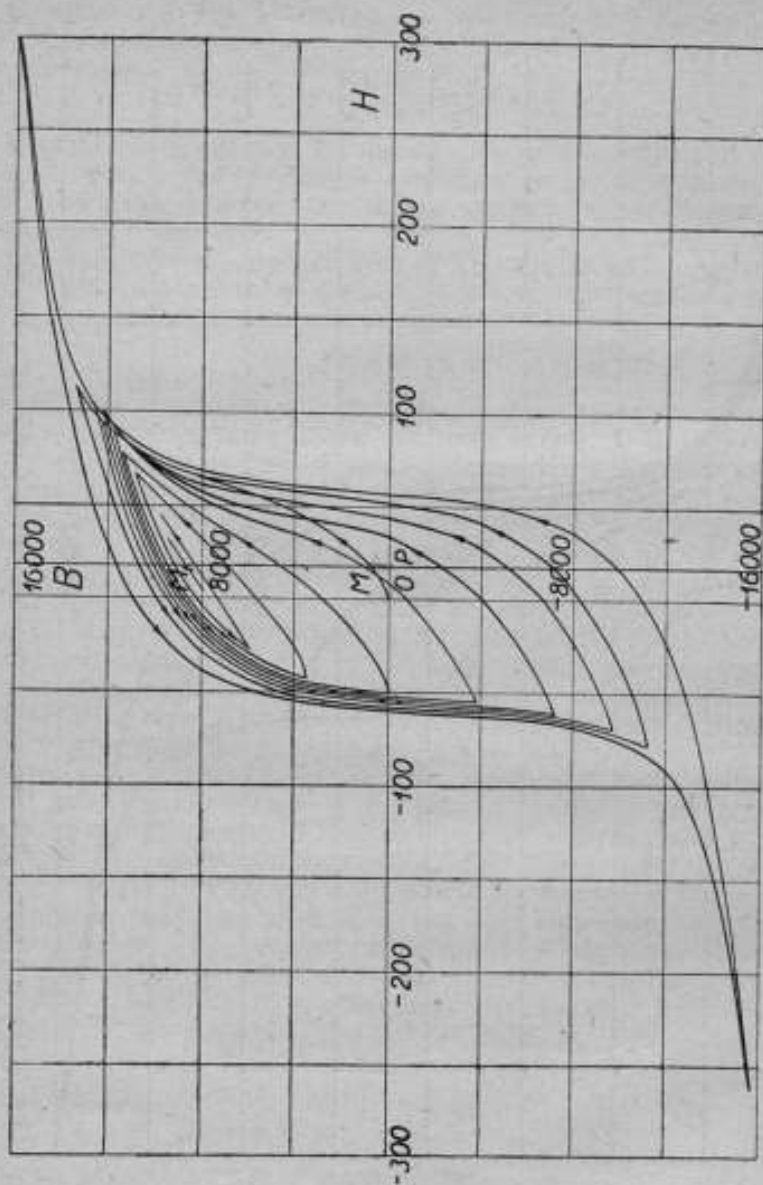
$$B_3 = (\alpha_1 + \alpha_2 - \alpha_3) k$$

$$B_4 = (\alpha_1 + \alpha_2 - \alpha_3 - \alpha_4) k$$

$$B_5 = (\alpha_1 + \alpha_2 - \alpha_3 - \alpha_4 + \alpha_5) k$$

где  $k$ —постоянная баллистического гальванометра, определявшаяся при помощи эталонной катушки. По окончании этой операции, предста-

<sup>1)</sup> Gumlich и Rogowsky, Ann. der Phys. т. 34 стр. 245, 1911.

Рис. 4. Ход гистерезисных циклов при действии постоянного поля  $OP$ .

ченем первого отчета  $\alpha_1$ . Уменьшая постепенно силу тока в переметре  $L_1$  и повторяя каждый раз подобные операции, мы получим ряд постепенно уменьшающихся циклов. Результаты этих наблюдений для трех значений постоянного поля: 9,6, 18,8 и 37,9 гауссов, помещены в таблицах I—III. Как видно из этих таблиц, индукция в отсутствие



переменного поля, соответствовавшая намагничивающим полям: 9,6, 18,8 и 37,9 гауссов, имела значение 440, 960 и 2280 гауссов, а после процесса наложения переменного поля с убывающей до нуля амплитудой возросла соответственно до 6760, 8670 и 10800 гауссов. Эти значения по Gumlich'у и Steinhaus'у соответствуют идеальному намагничению.

Таблица I.

Постоянное поле $H$ в гауссах	Амплитуда пере- менного поля в гауссах	Индукция в гауссах				
		При дей- ствии по- стоянного поля $H$	При действии переменного поля в полок. направл.	После дей- ствия пере- менного поля в полок. на- правл.	При действии переменного поля в отриц. направл.	После дей- ствия пере- менного поля в отриц. на- правл.
9,6	0	+440	—	—	—	—
9,6	300	—	+16 030	+11 340	-15 930	-10 580
9,6	187	—	+14 990	+11 440	-14 410	-10 140
9,6	94	—	+13 190	+10 690	-11 370	-8 090
9,6	89,8	—	+12 950	+10 430	-10 890	-7 520
9,6	87,2	—	+12 770	+10 240	-10 590	-7 170
9,6	84,4	—	+12 600	+10 130	-10 110	-6 670
9,6	80,6	—	+12 410	+ 9 960	- 9 210	- 5 710
9,6	77,8	—	+12 380	+ 9 910	- 8 590	- 5 030
9,6	75,0	—	+12 170	+ 9 770	- 7 800	- 4 170
9,6	72,2	—	+11 970	+ 9 570	- 6 760	- 3 030
9,6	69,4	—	+11 530	+ 9 140	- 5 730	- 1 940
9,6	65,6	—	+11 220	+ 8 930	- 3 930	- 130
9,6	60,9	—	+10 810	+ 8 570	- 1 520	+ 2 150
9,6	56,2	—	+10 380	+ 8 220	+ 670	+ 3 980
9,6	51,6	—	+ 9 940	+ 7 900	+ 2 180	+ 5 130
9,6	46,9	—	+ 9 510	+ 7 650	+ 3 290	+ 5 840
9,6	37,5	—	+ 8 780	+ 7 260	+ 4 560	+ 6 420
9,6	28,1	—	+ 8 160	+ 7 020	+ 5 350	+ 6 650
9,6	18,8	—	+ 7 670	+ 6 880	+ 5 920	+ 6 720
9,6	9,4	—	+ 7 160	+ 6 790	+ 6 370	+ 6 760
9,6	0	6760	—	—	—	—

Из описания процесса наблюдений и из таблиц видно, что каждый цикл определялся только по четырем точкам. Для построения кривых по этим данным необходимо знать еще промежуточные точки. Для этой цели предварительно были определены обычным баллистическим методом в замкнутой магнитной цепи: основная кривая намагничения, гистерезисный цикл для поля 300 гауссов и обратный ход гистерезисных циклов с четырех различных точек нисходящей ветви основного цикла. Вид этих кривых приведен на рис. 3. Зная ход этих кривых, можно было по аналогии построить все циклы уже по четырем точкам. На рис. 4 дано такое построение всех циклов для постоянного поля 9,4 гаусса. Эти кривые

дают ясное представление о характере происходящего явления при наложении переменного поля на постоянное, когда амплитуда переменного поля постепенно уменьшается до нуля. Повышение индукции от величины  $MP$  до величины  $M_1P$  является, как было указано выше, результатом своеобразного вида гистерезисных циклов. Вследствие присутствия постоянного поля  $OP$ , конечные точки всех циклов переместились вправо на ту же величину, и когда отрицательные абсциссы конечных точек циклов имеют значения близкие к значению коэрцитивной силы, соответствующие положительные абсциссы будут иметь значения, большие на удвоенную величину  $OP$ . Поэтому незначительное уменьшение величины приложенного поля в отрицательном направлении вызовет очень заметное изменение индукции в положительном направлении, тогда как тоже самое уменьшение поля в положительном направлении вызовет только незначительное уменьшение индукции. Уменьшая постепенно амплитуду переменного поля, мы получим за каждый цикл положительный прирост индукции и поэтому, когда амплитуда сделается равной нулю, индукция получит значительное увеличение против первоначального значения, соответствующего значению постоянного поля.

Таблица II.

Постоянное поле $A$ в гауссах	Амплитуда переменного поля в гауссах	Индукция в гауссах				
		При действии постоянного поля $A$	При действии переменного поля в полож. направ.	После действия переменного поля в полож. направ.	При действии переменного поля в отриц. направ.	После действия переменного поля в отриц. направ.
18,8	0	+ 960	—	—	—	—
18,8	280	—	+ 15 890	+ 11 630	— 15 620	— 10 050
18,8	187	—	+ 14 840	+ 11 520	— 14 510	— 9 880
18,8	94	—	+ 12 920	+ 10 660	— 11 160	— 7 190
18,8	90,0	—	+ 12 700	+ 10 410	— 10 310	— 6 160
18,8	87,2	—	+ 12 500	+ 10 280	— 9 600	— 5 300
18,8	84,4	—	+ 12 400	+ 10 160	— 8 660	— 4 210
18,8	80,6	—	+ 12 210	+ 10 010	— 7 170	— 2 540
18,8	77,8	—	+ 12 080	+ 9 910	— 5 590	— 840
18,8	75,0	—	+ 11 950	+ 9 800	— 3 880	+ 930
18,8	72,2	—	+ 11 840	+ 9 730	— 1 890	+ 2 830
18,8	69,4	—	+ 11 730	+ 9 680	+ 20	+ 4 510
18,8	65,6	—	+ 11 600	+ 9 610	+ 1 070	+ 6 030
18,8	60,9	—	+ 11 420	+ 9 540	+ 3 650	+ 7 020
18,8	56,2	—	+ 11 110	+ 9 330	+ 4 760	+ 7 740
18,8	46,9	—	+ 10 690	+ 9 170	+ 6 100	+ 8 310
18,8	28,1	—	+ 9 780	+ 8 840	+ 7 520	+ 8 610
18,8	9,4	—	+ 8 980	+ 8 680	+ 8 330	+ 8 670
18,8	0	8670	—	—	—	—

Таблица III.

Постоянное поле $h$ в гауссах	Амплитуда переменного поля в гауссах	Индукция в гауссах				
		При действии постоянного поля $h$	При действии переменного поля в позож. направл.	После действия переменного поля в позож. направл.	При действии переменного поля в отриц. направл.	После действия переменного поля в отриц. направл.
37,9	0	+ 2280	—	—	—	—
37,9	202,5	—	+15 680	+12 010	-15 460	- 8 840
37,9	160	—	+14 690	+11 910	-13 980	- 8 100
37,9	94	—	+13 440	+11 510	- 4 010	+ 3 390
37,9	91	—	+13 340	+11 380	- 1 310	+ 5 920
37,9	87,6	—	+13 370	+11 380	+ 1 180	+ 7 670
37,9	84,6	—	+13 320	+11 410	+ 2 940	+ 6 680
37,9	81,0	—	+13 250	+11 300	+ 4 360	+ 9 350
37,9	78,0	—	+13 160	+11 360	+ 5 460	+ 9 810
37,9	75,0	—	+13 110	+11 330	+ 6 190	+10 070
37,9	65,6	—	+12 840	+11 270	+ 7 600	+10 420
37,9	56,2	—	+12 560	+11 170	+ 8 450	+10 630
37,9	46,9	—	+12 300	+11 100	+ 9 100	+10 730
37,9	28,1	—	+11 690	+10 940	+ 9 930	+10 790
37,9	9,4	—	+11 060	+10 820	+10 550	+10 800
37,9	0	10800	—	—	—	—

## РАСЧЕТ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ ПРЯМОЛИНЕЙНОЙ ФОРМЫ.

Б. М. Яновский.

Вопрос о расчете постоянных магнитов, т. е. об определении магнитного момента или остаточной индукции постоянного магнита по заданным его размерам и форме и, обратно, об определении формы и размеров магнита по заданному магнитному моменту или остаточной индукции, имеет большое значение при конструировании приборов и инструментов, основанных на действии постоянных магнитов. До сих пор этот вопрос не имеет еще общего решения и только в некоторых частных случаях удалось более или менее справиться с этой задачей. Так, например, в работе Michel'я и Veyret<sup>1)</sup> рассматриваются магниты подковообразной формы, изготовленные из определенного сорта стали. S. Evershed<sup>2)</sup> дает решение для магнитных систем замкнутого вида, т. е. с очень малым воздушным промежутком, но уже для любого сорта стали. Точно так же работа R. Pison<sup>3)</sup> имеет в виду магниты замкнутой формы.

Наиболее просто эта задача решается для случая прямолинейных магнитов (цилиндров и параллелепипедов), имеющих большое применение в приборах по земному магнетизму и в компасном деле. Один из таких методов расчета прямых магнитов был предложен П. А. Домогааровым в статье: «Элементарная теория магнитного компаса и его расчет»<sup>4)</sup>, но он имеет тот недостаток, что пригоден лишь для определенного сорта стали, а именно: для того, из которой была приготовлена партия магнитов, исследованная автором. Кроме того при таком способе ошибка в предвычислениях может достигать до 20%.

Настоящая заметка имеет целью дать более общий и более точный метод расчета прямолинейных магнитов.

Как известно, магнитный момент  $M$  постоянного магнита выражается следующим образом:

$$M = \int I dv,$$

где  $I$  — интенсивность намагничивания в какой-либо точке магнита,  $dv$  — элемент объема магнита, а интегрирование распространяется на весь объем магнита. Если же заменить  $I$  средней величиной  $I_m$ , то:

$$M = I_m \cdot v$$

1) Michel et Veyret, Rev. Gen. de l'Electr. т. 15, стр. 43, 1924.

2) S. Evershed, Journ. Inst. El. Eng. т. 63, стр. 725, 1925.

3) R. Pison, Rev. Gen. de l'Electr. т. 23, стр. 259, 1928.

4) П. А. Домогааров, Записки по гидрографии, т. 54, стр. 87, 1928.

где  $v$ —объем магнита, т. е. для определения магнитного момента необходимо знать среднюю интенсивность намагничения и объем магнита.

Рассмотрим сначала прямые магниты цилиндрической формы, длину которых обозначим через  $l$ , а диаметр—через  $d$ , тогда:

$$M = \frac{\pi}{4} I_m l d^2 \dots \dots \dots (1)$$

Интенсивность намагничения является некоторой функцией внешнего приложенного поля  $H$ , т. е.:

$$I = f(H) \dots \dots \dots (2)$$

Аналитическое выражение этой функции не известно, но известен геометрический ее вид в форме гистерезисных циклов, которые легко определяются экспериментально для каждого сорта стали.

В постоянном магните внешнее поле отсутствует, но существует эквивалентное ему внутреннее поле, создаваемое магнитными массами, находящимися на концах магнита. Направление этого поля прямо противоположно направлению намагничения в магните, а величина его  $H_e$  определяется соотношением:

$$H_e = NI \dots \dots \dots (3)$$

где  $N$ —некоторая величина, практически постоянная для данного магнита. Если  $I$  представляет интенсивность намагничения в нейтральном сечении магнита, то  $N$  называют баллистическим коэффициентом размагничивания. Если же  $I$  будет средним значением интенсивности, то  $N$  называют магнитометрическим коэффициентом размагничивания. Так как в данном случае речь идет о среднем значении интенсивности, то под  $N$  мы будем подразумевать магнитометрический коэффициент размагничивания и обозначать его через  $N_m$ .

Таким образом  $N_m$  зависит только от формы и размеров магнита и не зависит от величины интенсивности намагничения. Для цилиндрических магнитов  $N_m$  является функцией отношения длины магнита к его диаметру, т. е.:

$$N_m = \varphi(\beta) \dots \dots \dots (4)$$

где  $\beta = \frac{l}{d}$ . Зависимость между  $\beta$  и  $N_m$  была экспериментально исследована В. Мэлл'ом<sup>1)</sup>, который дал ряд значений  $N_m$  для различных  $\beta$ . На основании этих результатов можно построить кривую и тем самым графически определить функцию  $\varphi(\beta)$ .

Подставляя выражения (3) и (4) в уравнение (2), будем иметь:

$$I_m = f[\varphi(\beta) I_m].$$

Решая это уравнение относительно  $I_m$ , получим:

$$I_m = \psi(\beta),$$

а из уравнения (1) будем иметь:

$$M = \frac{\pi}{4} \psi(\beta) l d^2, \dots \dots \dots (5)$$

<sup>1)</sup> В. Мэлл, Inaug.-Diss., Berlin, 1895; Phys. Rev. т. 3, стр. 359, 1896.



т. е. магнитный момент цилиндрического магнита является функцией только его размеров—длины и диаметра, поэтому, если известны размеры магнита, то магнитный момент его определится из уравнения (5), если только будет известна функция  $\psi(\beta)$ .

Для решения обратной задачи: найти по заданному магнитному моменту размеры магнита, необходимо, как видно из уравнения (5), знать еще один из размеров:  $l$  или  $d$ .

Положим, что известна длина магнита  $l$ , и его магнитный момент  $M_1$ , найдем чему будет равен диаметр. Разделим обе части уравнения (5) на

$$\frac{\pi}{4} l_1^3,$$

тогда:

$$\frac{\psi(\beta)}{\beta^2} = \frac{4 M_1}{\pi l_1^3} \dots \dots \dots (6)$$

отсюда, если известна  $\psi(\beta)$ , можно найти  $\beta$ , а следовательно и  $d$ .

Если дан диаметр  $d_1$  и магнитный момент  $M_1$ , длина определится из следующего уравнения:

$$\psi(\beta) \beta = \frac{4 M_1}{\pi d_1^3} \dots \dots \dots (7)$$

которое получается путем деления обеих частей уравнения (5) на

$$\frac{\pi}{4} d_1^3.$$

Выведенные формулы и самый вывод их указывают нам способ практического решения прямой и обратной задачи. Необходимо прежде иметь гистерезисную кривую для данного сорта магнитной стали, но так как интенсивность намагничения постоянного магнита может иметь значения, лежащие между нулем и некоторым значением, равным остаточной интенсивности намагничения в замкнутой магнитной цепи, то для наших целей достаточно иметь только участок гистерезисной кривой, лежащей между отрицательной осью абсцисс и положительной осью ординат. На рис. 1 приведены подобные участки гистерезисных кривых для различных сортов магнитной стали.

Далее необходимо иметь кривую зависимости между  $\beta$  и  $N_m$ , которую, как указано выше, можно построить на основании данных Магн'а<sup>1)</sup>. Такое построение дано на рис. 2.

Из этой кривой по данному  $\beta$  можно найти соответствующее ему значение коэффициента размагничивания  $N_m$ . Из формулы (3) мы имеем, что  $N_m = \frac{H_d}{I_m}$ , поэтому, если приравнять это выражение тангенсу некоторого угла  $\alpha$ , то прямая, проведенная, из начала координат под углом  $\alpha$  к оси ординат, при пересечении с гистерезисной кривой дает нам как раз точку, ордината которой и будет искомой интенсивностью  $I_m$ . Обычно  $I$  и  $H$  наносятся в разных масштабах, поэтому для построения угла  $\alpha$  необходимо  $N_m$  умножить еще на отношение масштабов  $H$  и  $I$ .

1) R. Магн, там же.

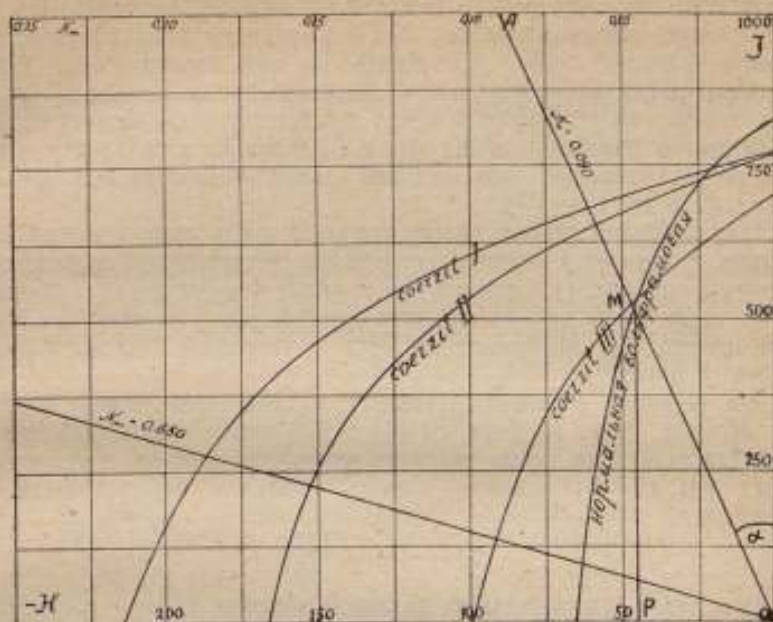


Рис. 1. Участки гистерезисных кривых для различных сортов стали.

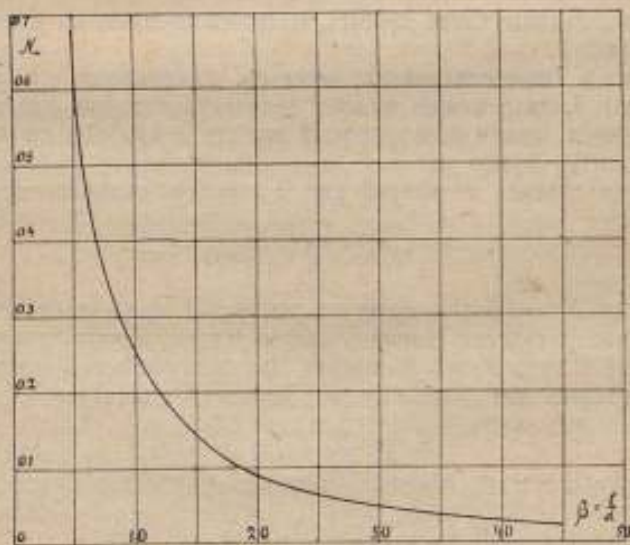


Рис. 2. Зависимость коэффициента размагничивания  $N_m$  от  $\beta$ .

Практически такое построение углов очень легко осуществлять, если провести прямую параллельную оси абсцисс, ординаты которой соответствуют величине  $I$  равной 1000, и отложить на ней значения  $N_m$ , масштаб которых будет в 1000 раз больше масштаба принятого для  $H$  (рис. 1). Тогда, отыскав на этой прямой точку, соответствующую данному значению коэффициента размагничивания  $N_m$ , и соединив ее с началом координат, мы и получим искомый угол  $\alpha$ . Такой метод построения был предложен М. Ascoli в 1897 году<sup>1)</sup>.

Таким образом прямая задача решается очень просто, нужно, следовательно, по данному  $\beta$  найти на кривой (2) соответствующую величину  $N$  и провести на рис. (1) прямую под углом  $\alpha = \text{arctg } N$  по указанному методу, тогда точка пересечения этой прямой даст нам величину средней интенсивности  $I_m$ , подставляя которую в уравнение (1), мы и получим магнитный момент.

Для решения обратной задачи, т. е. для определения  $\beta$  по заданному  $M$ , как видно из формулы (6) и (7), нужно знать вид функции  $\psi(\beta)$ . Для этой цели проще всего построить для каждого сорта стали из кривых рис. (1) и (2) новые кривые, ординаты которых были бы  $\beta$ , а абсциссы:

$$\psi(\beta) \cdot \beta \text{ и } \frac{\psi(\beta)}{\beta^2}.$$

Имея такие кривые, мы по заданной абсциссе найдем соответствующую ей ординату  $\beta$ . Построение таких кривых не представляет никаких затруднений. Необходимо лишь для каждого значения  $\beta$  найти на кривой рис. 2 соответствующую величину  $N_m$ , определить для этой величины по кривой рис. 1 значение  $I_m$  и умножить это значение на  $\beta$  или разделить на  $\beta^2$ .

На рис. 3 даны такие кривые, полученные мною из кривых рис. 1 и кривой рис. 2.

**Пример.** Определить длину магнита, изготовленного из кобальтовой стали сечением 1, магнитный момент и диаметр которого имели бы те же самые значения, как и вольфрамовый магнит длиной 10 см и диаметром 0,5 см.

Находим сначала по кривой рис. 2 значение коэффициента размагничивания для

$$\beta = \frac{10}{0,5} = 20,$$

это дает нам  $N_m = 0,090$ ; проводим на рис. 1 прямую  $OA$  под углом  $\alpha$  к оси ординат, тангенс которого равен 0,090. Точка пересечения  $M_1$  этой прямой с гистерезисной кривой для вольфрамовой стали дает нам величину средней интенсивности вольфрамового магнита:

$$I_m = M_1 P_1 = 515.$$

Отсюда магнитный момент вольфрамового магнита будет:

$$M = \frac{\pi}{4} \cdot 515 \cdot 10 \cdot (0,5)^2 = 1000.$$

<sup>1)</sup> М. Ascoli, Rendic. della R. Acad. de Lincei, т. 6, стр. 129, 1897.

Подставляя эту величину в формулу (7), получим:

$$\beta \cdot \psi(\beta) = \frac{4830}{\pi(0,5)^3} = 10200.$$

Кривая  $a_1$  рис. 3 дает нам для этого значения величину  $\beta = 158$ , отсюда:

$$l = \beta \cdot d = 158 \cdot 0,5 = 7,9 \text{ см.}$$

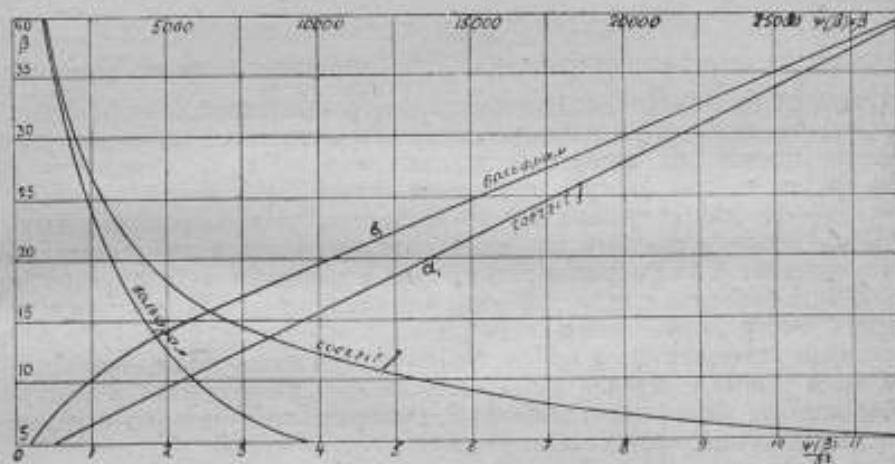


Рис. 3. Зависимость между  $I_m \cdot \beta = \psi(\beta) \cdot \beta$  и  $\beta$  (кривые  $a_1$  и  $b_1$ ) и между

$$\frac{I_m}{\beta^2} = \frac{\psi(\beta)}{\beta^2} \text{ и } \beta.$$

Вычисления для прямых магнитов с прямоугольным сечением производятся тем же самым путем и по тем же самым кривым, только для отношения  $\beta$  нужно взять диаметр того круга, площадь которого равна площади сечения данного магнита, т. е., если мы имеем магнит, поперечные размеры которого  $a \times b$ , а длина  $l$ , то:

$$\beta = \frac{l}{d},$$

где

$$d = \sqrt{\frac{4ab}{\pi}},$$

так как по исследованиям W. Schneider'a <sup>1)</sup> коэффициент размагничивания такого магнита равен коэффициенту размагничивания цилиндрического магнита той же длины и диаметра.

При описании этого способа мы предполагали, что гистерезисная кривая соответствует гистерезисной кривой нашего магнита. Но как бы

<sup>1)</sup> W. Schneider, Z. f. Phys. v. 42, стр. 883, 1927.



ни была однородна сталь и как бы ни были одинаковы условия ее обработки, никогда нельзя получить после закалки два образца, обладающие одинаковыми магнитными свойствами, поэтому всегда гистерезисная кривая магнита будет несколько отличаться от гистерезисной кривой, определенной для другого образца, хотя и закаленного при тех же самых условиях. Ошибка в определении интенсивности намагничивания вследствие этой причины, как указывает S. Evershed <sup>1)</sup>, может достигать 5%.

Далее мы предполагали, что коэффициент размагничивания  $N_m$  зависит только от отношения размеров  $\frac{l}{d}$ , в действительности же последние измерения E. Dussler'a <sup>2)</sup> показали, что баллистический коэффициент размагничивания, а следовательно, и магнитометрический, зависит от размеров магнита, от интенсивности намагничивания и от проницаемости материала, т. е. от формы гистерезисной кривой.

Но сопоставляя данные для коэффициентов размагничивания, полученные разными авторами над различными магнитами, можно утверждать, что данными Магн'a можно пользоваться с точностью до 5%.

Таким образом среднюю ошибку при расчетах магнита по описанному выше методу можно оценить в 10%.

Для уточнения этого метода требуется произвести более подробные и более точные измерения магнитометрического коэффициента размагничивания для различных отношений  $\beta$ , для различных размеров магнитов и для различных сортов стали.

Интересно отметить, что кривые  $a$ , и  $b$  рис. 3 получаются прямыми линиями, т. е. зависимость между  $I_m \beta$  и  $\beta$  прямолинейная, которую можно представить аналитически:

$$\beta I_m = a + b\beta$$

или:

$$I_m = b + \frac{a}{\beta}.$$

Подставляя это выражение в уравнение (1), получаем:

$$M = \frac{\pi}{4} b l d^3 + \frac{\pi}{4} a d^3,$$

где  $a$  и  $b$ —постоянные величины, зависящие от свойств материала, они определяются или из кривых  $a$ , и  $b$ , рис. 3, или же измерением магнитного момента двух магнитов различной длины или диаметра, изготовленных из данного сорта стали. Заменяя  $\frac{\pi}{4} b = m$  и  $\frac{\pi}{4} a = n$ , получаем значение магнитного момента в функции его размеров:

$$M = m l d^3 + n d^3 \dots \dots \dots (8)$$

где  $m$  и  $n$ —постоянные зависящие от свойств материала. Для кобальтовой стали это справедливо для всех значений  $\beta$ , а для вольфрамовой—только для значений больше некоторого  $\beta$ .

<sup>1)</sup> S. Evershed, там же.

<sup>2)</sup> E. Dussler, Ann. d. Phys. т. 86, стр. 66, 1928.



Уравнение (8) позволяет нам найти при заданной длине магнита величину диаметра, при котором магнитный момент магнита будет максимальным. Дифференцируя уравнение (8) по  $d$  и приравнявая производную нулю, мы получаем:

$$\frac{\partial M}{\partial d} = 2mld + 3nd^2 = 0,$$

откуда:

$$d = -\frac{2m}{3n} l \dots \dots \dots (9)$$

Вычисляя в данном случае из кривых  $a_1$  и  $b_1$  коэффициенты  $a$  и  $b$ , а затем  $m$  и  $n$ , мы имеем следующие уравнения для магнитного момента:

Для соерзит I:  $M = 646 d^2 l - 2210 d^3$  для всех  $\beta$ .

Для вольфрамовой стали:  $M = 747 d^2 l - 6510 d^3$  для  $\beta > 13$ .

Из этих уравнений мы находим по формуле (9) величину диаметра, при котором магнитный момент будет наибольший, когда  $l$  известно:

Для соерзит I:  $d = 0,195 l$ .

Для вольфрамовой стали:  $d = 0,0765 l$ .

## МАГНИТНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ В РАЙОНЕ СРЕДНЕГО И ЮЖНОГО УРАЛА, ПРОИЗВЕДЕННЫЕ ЛЕТОМ 1928 ГОДА.

Б. М. Яновский и Н. П. Спиридович.

Одной из плановых работ магнитной лаборатории Главной Палаты мер и весов на 1927—1928 г. была намечена работа по производству магнитной съемки на территории Союза ССР.

Согласно проекта Магнитного Бюро РСФСР при Главной Геофизической Обсерватории по распределению работ на 1928 г. между научными учреждениями, Главная Палата мер и весов взяла на себя работу по определению ряда опорных магнитных пунктов в районе среднего и южного Урала.

Прежде чем перейти к изложению и разбору полученных нами результатов магнитных определений, остановимся несколько на обзоре имеющихся сведений о магнитной съемке в дореволюционной России и на развитии этого вопроса в настоящее время.

Отрывочные указания на определение склонения встречаются в начале XVII века у Олзария для Астрахани, у Bourdon'a в 1614 г. для Пустозарска на Печере. Интерес к магнитным определениям проявился особенно сильно в конце XVII века; так в 1769 г. относятся определения многих пунктов на севере, как-то: Умба, Паной (на Белом море), Кола, и на востоке: Уфа, Гурьев, Орск, Оренбург и др. Эти работы производились астрономами вместе с академиком Иноходцевым, первым определившим, между прочим, Бурскую аномалию, хотя в печати указания на неправильность распределения магнетизма около Курска появились спустя почти 100 лет в работах И. П. Смирнова. Астроном Ловиц, определивший склонение в Гурьеве и работавший на Волге в 1774 году, попал в плен к Пугачеву и был им казнен. В 1770—1780 годах относятся определения склонений на юге в Аккермане, Евпатории, Еникале, Моздоке и др.

В начале XIX столетия систематические магнитные определения были проведены Ганстеном и его сотрудниками (1828—1830 г.), а в 70-годах приват-доцент Казанского Университета И. П. Смирнов произвел ряд однородных и весьма тщательных измерений в 291 пункте Европейской России. Его работа послужила А. Тилло основой при составлении магнитных карт для эпохи 1880 года.

Необходимость производства систематических магнитных съемок стала очевидной, и в 1893 году Академия Наук составила проект проведения сети основных станций для магнитных наблюдений со средним расстоянием между пунктами в 40—45 километров. Предполагалось произвести

точные наблюдения на 2 700 пунктах, но такая большая работа оказалась в то время неосуществимой, и проект не получил дальнейшего развития. Однако, все же в 1904—1908 годах около четверти всех ранее обследованных пунктов было вновь определено персоналом Главной Физической Обсерватории.

В 1908 году Академия Наук выделила комиссию для разработки плана магнитной съемки России, в состав которой, среди представителей различных научных учреждений, входил и представитель от Главной Палаты мер и весов. Цель предстоящей магнитной съемки состояла в выяснении распределения земного магнетизма на всем пространстве страны, в выделении районов с значительными магнитными аномалиями и в получении необходимых материалов при составлении карт магнитных склонений для эпох с конца XVIII столетия. В дальнейшем предполагалось организовать систематические повторные наблюдения на основных станциях для составления новых магнитных карт последующих эпох.

В 1910 году Магнитная комиссия при Академии Наук выработала план развития сети опорных пунктов для магнитных наблюдений с одним пунктом на каждые 400 кв. в. Из района детальной съемки на пространстве Европейской России были исключены малонаселенные северные и юго-восточные окраины, как-то губернии Архангельская, Олонецкая, Вологодская, отчасти Пермская, Вятская, а также Астраханская и Оренбургская. В виду отсутствия здесь легко доступных дорог, необходимого условия для производства точных работ, предполагалось организовать только маршрутные съемки по линиям железных дорог, почтовых трактов и рек. Все полевые работы должны были быть законченными в течение 10 лет и производиться в летние месяцы; на выполнение их предполагалось ассигнование определенных сумм. Проект съемки и сметы расходов, составленные Магнитной комиссией при Академии Наук, вызвали некоторые возражения со стороны заинтересованных ведомств, и для рассмотрения их в конце 1912 года совет министров учредил при Академии Наук междуправительственную комиссию из представителей разных ведомств и университетов. Междуправительственной комиссии были ассигнованы и отпущены денежные суммы, требующиеся на производство работ по магнитной съемке; этими последними комиссия руководила до 1921 года, когда она была расформирована.

За время деятельности междуправительственной комиссии магнитная съемка производилась в губерниях: Новгородской, Вологодской, Олонецкой и Архангельской в 1912 г., в Подольской губ. в 1913 г., в Бессарабии в 1914 г. и в Западной Сибири в 1914—1915 г. Работы 1916 года по Петроградской и Новгородской губ. остались не опубликованными. С 1917 года специальные полевые работы по съемкам были прерваны и производились только одним Гидрографическим Управлением попутно с общими работами по гидрографии.

В мае 1924 года при Главной Геофизической Обсерватории состоялось Всесоюзное Геомагнитное Собрание, в постановлениях которого были определены разряды опорных пунктов для изучения векового хода магнитных элементов, было поручено геомагнитному отделению Г. П. О. выполнять инструкцию наблюдений на опорных пунктах, указано на необхо-

димось печатания сведений о магнитных съемках, выбрано место хранения образцовых приборов и пр.

В мае месяце следующего 1925 года был созван 1-й Всесоюзный геофизический съезд при Главной Геофизической Обсерватории; во исполнение его постановления организовано Магнитное Бюро РСФСР, которому геофизический съезд придал значение центрального для всего Союза.

Первая сессия Магнитного Бюро, состоявшаяся в январе 1926 г., одобрила план работ на 1926 г. по исследованию векового хода земного магнетизма разными учреждениями, при чем Главной Палате мер и весов предоставилось 35 опорных пунктов, по взаимному соглашению.

Второй сессией Магнитного Бюро в 1927 году также был одобрен план работ Главной Палаты, но, к сожалению, ни в 1926 г., ни в 1927 г. Главная Палата не могла его выполнить.

Необходимо, однако, отметить, что Главная Палата мер и весов внесла уже раньше свой научный труд в дело развития магнитных наблюдений в России. Так Д. И. Менделеев, будучи управляющим Главной Палаты мер и весов, при своей поездке совместно с научными сотрудниками Палаты, совершенной по поручению Министерства Финансов для изучения Уральской железной промышленности в 1899 г., придавал большое значение магнитным измерениям. В сборнике: «Уральская железная промышленность в 1899 г.», в главе 2-й: «Магнитные измерения, произведенные при поездке на Урал в 1899 г.», в вступительных замечаниях Д. И. Менделеев говорит: «... отправляясь на Урал с моими сотрудниками, я считал полезным произвести несколько возможно точных магнитных измерений в местностях, заведомо богатых железными рудами, чтобы наблюдениями этого рода доставить материал для дальнейшего обследования вопроса о связи между местонахождениями железных руд и магнитными аномалиями, как в склонении и наклонении, так и в напряжении магнетизма... Если наши попытки умножить, число возможно точных и полных магнитных наблюдений на Урале не принесут ничего другого, кроме того, что обратят внимание на практическую пользу, могущую произтечь от организации систематических и полных магнитных наблюдений в Уральском крае, ... я буду считать не напрасными усилия свои и моих сотрудников в этом деле: Ф. И. Блумбаха, К. Н. Егорова и С. П. Вуколова».

В той же главе помещена статья инспектора Главной Палаты мер и весов Ф. И. Блумбаха по земному магнетизму с подробным описанием устройства переносных магнитных приборов Маскара—Врюниера—Муро, еще не описанных в то время в русской специальной литературе. В этой же работе Ф. И. Блумбах делает расчеты из магнитных наблюдений, производившихся в горах Благодать и Высокая инспектором Главной Палаты К. Н. Егоровым, а на Магнитной и в Бакалах—К. Н. Егоровым и С. П. Вуколовым.

С 1928 года магнитная съемка на территории Союза ССР включается в число плановых работ магнитной лаборатории Палаты, ввиду чего минувшим летом, с 16 мая по 30 июня, нами были произведены наблюдения элементов земного магнетизма на 11 опорных магнитных пунктах и на 6 промежуточных — маршрутные магнитные определения (рис. 1).





Рис. 1.



Приборами для указанных работ служили: магнитный теодолит Chasselon-Mougeaux № 5 с одним магнитом, стрелочный инклинометр Dover'a № 231, хронометр Ericson'a № 1342 и отражательный круг Репсольда.

Наблюдения на опорных пунктах состояли в определении четырьмя приемами горизонтальной составляющей, магнитного склонения и магнитного наклона, азимута мира, по возможности двумя приемами—утром и вечером по солнцу, и в определении поправки хронометра. Наблюдения на промежуточных пунктах состояли в определении каждого из указанных элементов одним приемом.

### 1. Астрономические наблюдения.

Поправка хронометра определялась по абсолютным высотам солнца. Наблюдения состояли не менее, чем из восьми наведений, и производились отражательным кругом Репсольда. Вычисления велись по формуле:

$$\sin^2 \frac{t}{2} = \frac{\cos(\varphi - \delta)}{\cos \varphi \cos \delta} \left[ 1 - \frac{\sin h}{\cos(\varphi - \delta)} \right] \dots \dots \dots (1)$$

где  $t$ —часовой угол солнца,  $\varphi$ —широта места,  $\delta$ —склонение солнца,  $h$ —высота солнца. Азимут мира определялся по наблюдениям солнца около первого вертикала теодолитом Chasselon-Mougeaux. Полная серия наблюдений состояла из трех наведений на солнце при круге право и трех наведений при круге лево. Вычисления производились по формуле:

$$\lg a = - \frac{\sin t \operatorname{ctg} \delta \sec \varphi}{\operatorname{ctg} \delta \operatorname{tg} \varphi (1 - \cos t)} \dots \dots \dots (2)$$

где  $a$ —азимут солнца, считаемый от S к W, а остальные буквы имеют те же значения, что и в формуле (1).

Широта и долгота места непосредственно не определялись, а снимались с точностью до 0,5 с десятиперстной карты Главного Штаба.

### 2. Горизонтальная составляющая.

Каждая серия наблюдений имела следующий порядок: кручение, качания, отклонения и качания. Качания состояли из 10 рядов по 50 качаний в каждом. Вычисления велись по формулам:

$$H = \frac{A}{T V \sin V} \left[ 1 + \frac{\mu + 2\sigma}{2} (t - \tau) - \frac{3m - 2\sigma}{2} \tau - \frac{\nu}{2} H - \frac{\alpha}{2} \Delta' - bs \right] \dots (3)$$

$$\frac{M_0}{B} = \frac{V \sin V}{T} \left[ 1 + \frac{\mu + 2\sigma}{2} (t + \tau) + \frac{3m - 2\sigma}{2} \tau - \frac{\nu}{2} H - \frac{\alpha}{2} \Delta' - bs \right] \dots (3')$$

где:

- $H$ —горизонтальная составляющая,
- $A$ —постоянная прибора,
- $T$ —время одного качания магнита,
- $V$ —угол отклонения,
- $M_0$ —магнитный момент магнита при 0°.

- $t$ —температура при качаниях,  
 $\tau$ —температура при отклонениях,  
 $\mu$ —температурный коэффициент магнита,  
 $\sigma$ —коэффициент расширения стали,  
 $m$ —коэффициент расширения меди,  
 $\nu$ —индукционный коэффициент магнита,  
 $\Delta$ —отклонения магнита при закручивании нити на  $360^\circ$ ,  
 $S$ —суточный ход хронометра,  
 $B$ —постоянная величина,  
 $a$  и  $b$ —постоянные коэффициенты, имеющие следующие значения:

$$\frac{a}{2} = 0,0000232 \quad b = 0,0000116.$$

По определениям, произведенным весной 1928 года на Слуцкой Магнитной Обсерватории,

$$\begin{aligned} \mu + 2\sigma &= 0,000435 \\ \mu + 3m &= 0,000439 \\ \nu &= 0,0057 \end{aligned}$$

Постоянная прибора  $A$  определялась из наблюдений горизонтальной составляющей на Слуцкой Обсерватории, где величина этой последней известна. Данные этих наблюдений помещены в таблице IV.

### 3. Склонение.

Определение магнитного склонения состояло из двух наведений на миру в начале и в конце наблюдения и из восьми наведений на магнит. Каждый раз производилось раскручивание нити. До поездки и после поездки прибор был сличен с образцовым прибором Слуцкой Обсерватории. Получившиеся при этом поправки введены во все наблюдения. Данные сличений помещены в таблице V.

### 4. Наклонение.

Меридиан при вертикальном положении стрелки определялся по четырем отчетам при круге, обращенном к 0 и затем к W. Стрелка намагничивалась перед каждым рядом наблюдений наклонением. Полный ряд наблюдений состоял из 16 отчетов наклонного положения стрелки: 8 отчетов до перемагничивания и 8—после.

Сличение прибора с образцовыми приборами Слуцкой Обсерватории дали результаты, помещенные в таблице VI. Результаты наблюдений и вычисленные значения элементов земного магнетизма помещены в таблицах VII—IX.

Поправки на вариации земного поля не вводились, вследствие чего данные этих таблиц представляют значения элементов земного магнетизма в момент наблюдений.

К измерительным магнитам прибора Mougeaux-Chasselon'a № 5, употреблявшегося нами при полевых работах по определению элементов земного магнетизма на опорных пунктах, впервые, летом текущего года,

были применены способы старения и хранения магнитов, разработанные в магнитной лаборатории Главной Палаты мер и весов.

Сущность этих способов заключается в том, что магниты после закалки выдерживаются при температуре  $100^\circ$  в течение 8—10 часов, намагничиваются до насыщения и затем подвергаются частичному размагничиванию (процентов на 15—20) переменным полем с убывающей до нуля амплитудой.

Приготовленные таким путем магниты должны храниться вдали от других магнитов и каких-либо железных масс. При подобной обработке магнитный момент остается постоянным, так как изменения его величины, вызываемые внешними причинами (температура, удары, внешние поля), будут происходить обратимым путем, т. е. по уничтожении причины, вызвавшей изменение, магнитный момент примет первоначальное значение. Но такой обратимый процесс может иметь место только в том случае, если внешнее воздействие не превосходит некоторого значения, величина которого находится в прямой зависимости от магнитных свойств материала. Чем больше коэрцитивная сила материала, тем больше может быть величина внешнего воздействия, при котором еще происходит обратимый процесс, а следовательно, тем устойчивее будет магнит. Для получения наиболее устойчивых магнитов необходимо выбирать материал, обладающий наибольшей коэрцитивной силой. Этому условию в настоящее время удовлетворяет кобальтовая сталь, полученная в 1920 году К. Honda<sup>1)</sup>.

С целью применения более устойчивых магнитов при работах по магнитной съемке для прибора Chasselon'a, имеющего обычные вольфрамовые магниты, были изготовлены из 15% кобальтовой стали в мастерских Главной Палаты мер и весов два магнита: отклоняющий и отклоняемый, таких же размеров, как и вольфрамовые, с нижеследующими магнитными характеристиками:

Остаточная индукция в замкнутой цепи . . . . .	9 500 гауссов
Коэрцитивная сила . . . . .	170 гауссов
Начальная проницаемость . . . . .	10

Вольфрамовые магниты служили для обычных измерений при определении горизонтальной составляющей, с кобальтовыми же магнитами производились только наблюдения углов отклонения, при чем на каждом пункте производилась только одна серия наблюдений, состоявшая из четырех отчетов.

Обработка кобальтовых магнитов при структурном и магнитном старении состояла в нагревании их после закалки в течение 6 часов при температуре  $100^\circ$ , намагничивании до насыщения в поле 1500 гауссов и частичном размагничивании переменным полем с убывающей до нуля амплитудой. После этих операций были произведены определения перемножительного множителя для прибора Chasselon'a из одних только отклонений и магнитного момента отклоняющего магнита на образцовом магнитометре Слуцкой Магнитной Обсерватории.

<sup>1)</sup> К. Honda and, S. Saito. Phys. Rev. т. 16, стр. 495, 1920.

Старение вольфрамовых магнитов заключалось только в частичном размагничивании переменным полем после намагничивания их до насыщения. Структурное старение не производилось в виду того, что после изготовления этих магнитов и их закалки прошло уже значительное время, и структура магнитов могла естественным путем принять устойчивое состояние.

Во избежание взаимодействия магнитов, влияющего на их магнитный момент, все магниты хранились в разных местах, на большом расстоянии друг от друга и вдали от железных предметов.

Результат применения указанного выше способа старения и хранения магнитов сказался в значительном снижении процентного изменения величины магнитного момента вольфрамового магнита за время летних работ. Это изменение не превышало 0,1%, что видно из таблицы I, тогда как раньше, при хранении магнитов в одном ящике, изменение магнитного момента, по данным наблюдений Магнитной комиссии при Академии Наук<sup>1)</sup>, за тот же период времени доходило до 3%.

Таблица I.

Место наблюдений	Время наблюдений	Магнитный момент	$\Delta M_0$	$\frac{\Delta M_0}{M} \times 100$
Служба Обсерватории . . . . .	Апрель-май	2850,6	—	—
Эль-тон . . . . .	20 мая	2851,1	+ 0,5	+ 0,018%
Уральск . . . . .	23 "	2850,3	- 0,3	- 0,010%
Илек . . . . .	28 "	2850,4	- 0,2	- 0,007%
Городище . . . . .	29 "	2852,0	+ 1,4	+ 0,050%
Оренбург . . . . .	1 июня	2850,0	- 0,6	- 0,021%
Мезаус . . . . .	5 "	2851,9	+ 1,3	+ 0,046%
Стерлитамак . . . . .	7 "	2850,0	- 0,6	- 0,021%
Уфа . . . . .	10 "	2850,5	- 0,1	- 0,003%
Елабуга . . . . .	13 "	2849,1	- 1,5	- 0,053%
Сарангуз . . . . .	15 "	2850,0	- 0,6	- 0,021%
Пермь . . . . .	18 "	2849,2	- 1,4	- 0,050%
Глазов . . . . .	22 "	2848,0	- 2,6	- 0,091%
Вятка . . . . .	24 "	2847,6	- 3,0	- 0,105%
Мантурово . . . . .	28 "	2847,4	- 3,2	- 0,112%
Служба Обсерватории . . . . .	Август-сентябрь	2848,0	- 2,6	- 0,091%

Устойчивое состояние кобальтовых магнитов можно видеть по данным наблюдений углов отклонения  $v$ . Здесь горизонтальная составляющая  $H$  вычислялась по формуле:

$$H = \frac{C}{\sin v} \left[ 1 - (\mu + 3m) \tau \right] \dots \dots \dots (4)$$

где  $C$ —постоянная, прямо пропорциональная магнитному моменту, была определена на Службе Магнитной Обсерватории (таблица II),  $\mu$ —температурный коэффициент,  $m$ —коэффициент расширения меди и  $\tau$ —температура.

<sup>1)</sup> Записки Академии Наук. „Магнитная съемка России“ вып. I—IX 1912—1919 г.

Таблица II.

До поездки		После поездки	
Время наблюд.	$C$	Время наблюд.	$C$
16 мая	0,081102	4 сентября	0,081058
16 "	0,081053	4 "	0,081064
		8 "	0,081069
		8 "	0,081054
		8 "	0,081061
Среднее	0,081077	Среднее	0,081061

При вычислениях принято среднее:  $C = 0,081069 \pm 0,000008$

$$\text{или } \frac{\Delta C}{C} \times 100 = \pm 0,01\%$$

Вероятная ошибка одного наблюдения:  $\pm 1,7 \cdot 10^{-7}$  или  $\pm 0,02\%$ .

Из таблицы II видно, что  $C$  за время поездки изменилось всего лишь на 0,02%. В тех же пределах должен измениться и магнитный момент кобальтового магнита. Непосредственное измерение магнитного момента на образцовом приборе Слуцкой Обсерватории с двух расстояний дало следующие результаты:

До поездки 16 мая:  $M_0 = 377,18$  сгс

После поездки 7 июня:  $M_0 = 377,10$  "

Изменение — 0,08 или — 0,02%

Таблица III.

Название пункта	Время наблюдений	$H_1$	$H_2$	Равность в $\gamma^2$ )
		из обычных наблюдений с вольфр. магнитом	из наблюдений углов отклон. с кобальт. магнитами	
Эльтоп . . . . .	20 мая	0,20800	0,20784	+ 25
Уральск . . . . .	23 "	0,19930	0,19921	+ 9
Илек . . . . .	28 "	0,19648	0,19650	- 2
Оренбург . . . . .	1 июня	0,19671	0,19682	- 11
Мелеуз . . . . .	5 "	0,18788	0,18778	+ 10
Стерлитамак . . . . .	7 "	0,18476	0,18484	- 8
Уфа . . . . .	10 "	0,17879	0,17865	+ 14
Елабуга . . . . .	13 "	0,17274	0,17279	- 5
Саранул . . . . .	15 "	0,16957	0,16960	- 3
Пермь . . . . .	21 "	0,16218	0,16220	- 2
Глазов . . . . .	22 "	0,16044	0,16026	+ 18
Валда . . . . .	24 "	0,16081	0,16100	- 19
Мантурово . . . . .	28 "	0,16243	0,16222	+ 21

<sup>1)</sup>  $\gamma = 0,00001$  гаусса.



В таблице III помещены величины горизонтальной составляющей  $H$  для различных опорных пунктов, вычисленные из обычных наблюдений качания, отклонения, качания с вольфрамовыми магнитами и из наблюдений только одних углов отклонения, произведенных с кобальтовыми магнитами. Из сравнения результатов вычислений видно, что получающаяся разность в величинах  $H$  лежит в пределах возможных ошибок наблюдений.

Действительно, из формулы (4) мы имеем:

$$\frac{\Delta H_2}{H_2} = \frac{\Delta C}{C} + \operatorname{ctg} V \sin 1' \Delta V + (\mu + 3m) \Delta \tau \dots \dots (5)$$

Из таблицы II:  $\frac{\Delta C}{C} = 0,0001$ ;  $V$  имело, в среднем, значение около  $30^\circ$ , ошибка в определении его:  $\Delta V = \pm 1'$ ;  $\Delta \tau$ , ошибку в отчетах температуры, можно считать равной  $\pm 0,5$ , а  $\mu + 3m = 0,00020$ . Подставляя эти значения в формулу (5) и принимая, в среднем,  $H = 0,18$ , получим:

$$\Delta H_2 = \pm 13 \gamma.$$

Приблизительно с такой же точностью определено и  $H_1$ , поэтому разность  $H_2 - H_1$  может доходить до  $\pm 26 \gamma$ .

При вычислении поправки на вариации земного поля, как было упомянуто выше, не вводилась, а потому величина разности  $H_2 - H_1$  могла зависеть также и от суточных вариаций горизонтальной составляющей.

Кобальтовые магниты имеют еще то преимущество, что их температурный коэффициент  $\mu$  почти в три раза меньше такового вольфрамовых магнитов, что повышает точность определений горизонтальной составляющей.

$$\begin{aligned} \mu \text{ вольфрамового магнита} &= 0,00044 \\ \mu \text{ кобальтового} &= 0,00015 \end{aligned}$$

Увеличивая магнитный момент отклоняющего кобальтового магнита так, чтобы угол отклонения приближался к  $45^\circ$ , возможно, при измененном способе определения горизонтальной составляющей, достигнуть уменьшения ошибки до  $\pm 8 \gamma$ .

Сопоставляя все данные, полученные при работе с кобальтовыми магнитами, обработанными применяемым в магнитной лаборатории Главной Палаты мер и весов способом, видно, что метод измерения горизонтальной составляющей может быть изменен. Сложный способ наблюдений качаний, отклонений, качаний будет в таком случае заменен измерением только одного угла отклонения, что даст возможность исключить при полевых наблюдениях применение хронометра и все связанные с ним определения; благодаря этому значительно сократится время наблюдений на пунктах, что позволит, в свою очередь, увеличить их число, а также устранится затруднение при передвижении с таким чувствительным прибором, как хронометр.

Таблица IV.  
Переводный множитель  $A_0$  и магнитный момент  $M_0$ .

Д о п о в е з а к и		П о с л о п о с в а д к и					
Месяц и число	Время наблюдений	$A_0$	$M_0$	Месяц и число	Время наблюдений	$A_0$	$M_0$
15—III	11 50—12 27	0,32408	2851,3	4—IX	12 48—13 24	0,32418	2848,2
15—III	12 30—13 12	0,32420	2853,0	4—IX	13 18—13 58	0,32418	2847,9
21—III	11 34—12 02	0,32383	2850,0	8—IX	12 31—13 07	0,32454	2847,1
10—IV	11 35—12 07	0,32395	2849,3	15—IX	11 03—11 36	0,32424	2848,2
10—IV	12 20—12 52	0,32408	2849,1	15—IX	11 32—12 06	0,32428	2847,5
10—IV	13 05—13 39	0,32382	2851,5	15—IX	11 50—12 34	0,32441	2847,4
13—IV	11 07—11 40	0,32366	2850,4	15—IX	12 29—12 58	0,32444	2848,2
13—IV	11 36—12 10	0,32414	2849,8				
13—IV	12 06—12 40	0,32413	2850,6				
13—IV	12 34—13 00	0,32410	2850,9				
Среднее . . .		0,32399	2850,6	Среднее . . .		0,32432	2848,0
		$\pm 0,00006$	$\pm 0,35$			$\pm 0,00005$	$\pm 0,2$

При вычислениях приняты:

Переводный множитель . . . . .  $A_0 = 0,32416$ ,  
 Индукционный коэффициент . . . . .  $\gamma = 0,0058$   
 Температурный коэффициент . . . . .  $\mu + 2\beta = 0,00043$   
 $\mu + 3\alpha = 0,00044$

Таблица V.

## Поправки склонения.

Месяц и число	Время наблюдений	Истинное склонение	Наблюдаемое склонение	Поправка
------------------	------------------	-----------------------	--------------------------	----------

## Д о п о л н е н и я.

	в м в м			
24. IV	11 27 — 11 41	3° 49,2'	3° 50,5'	- 1,3'
24. IV	11 54 — 12 12	3 45,4	3 45,8	- 0,4
28. IV	11 52 — 12 10	3 45,2	3 46,2	- 1,0
28. IV	12 18 — 12 38	3 44,5	3 45,3	- 0,8
28. IV	12 40 — 12 58	3 43,8	3 44,8	- 1,0
28. IV	12 01 — 12 26	3 43,5	3 43,1	- 0,6
Среднее . . .				- 0,8'

Средняя поправка принята: - 0,8'.

## П о с л е д о в а т е л ь н о с т ь.

	в м в м			
11. X	10 34 — 10 49	3° 49,5'	3° 51,8'	- 2,0'
11. X	11 05 — 11 17	3 47,2	3 49,0	- 1,8
11. X	11 51 — 12 05	3 48,7	3 48,8	- 0,1
13. XI	10 08 — 10 26	3 47,3	3 47,6	- 0,3
13. XI	10 42 — 10 53	3 48,5	3 47,5	+ 1,0
Среднее . . .				- 0,7'

Таблица VI.  
Поправки наклонения.

Месяц и число	Время наблюдений	Истинное наклонение	Наблюдаемое наклонение	Поправка
Д о п о е з д к и.				
	л м л м	Стрелка № 3		
5. V	11 47 — 12 50	71° 39,3'	71° 38,7'	— 0,3'
5. V	12 53 — 13 10	71 38,7	71 39,8	— 1,1
5. V	13 11 — 13 28	71 37,6	71 39,1	— 1,5
			Среднее . .	— 1,0'
	л м л м	Стрелка № 1		
13. V	13 14 — 13 38	71° 38,6'	71° 37,2'	+ 1,2'
13. V	13 51 — 14 32	71 40,3	71 39,7	+ 0,6
13. V	14 34 — 14 50	71 41,9	71 39,7	+ 2,2
13. V	15 0 — 15 18	71 40,7	71 38,3	+ 2,3
			Среднее . .	+ 1,6'
П о с л е п о е з д к и.				
	л м л м	Стрелка № 3		
13. XI	11 58 — 12 11	71° 42,7'	71° 44,5'	— 1,8'
13. XI	10 38 — 11 21	71 43,7	71 45,9	— 2,2
23. XI	11 27 — 12 36	71 40,7	71 41,6	— 0,9
			Среднее . .	— 1,4'
	л м л м	Стрелка № 1		
11. X	12 03 — 12 39	71° 40,5'	71° 38,4'	+ 2,1'
13. XI	11 30 — 11 50	71 43,4	71 40,4	+ 3,0
23. XI	12 52 — 13 08	71 40,8	71 37,7	+ 3,1
			Среднее . .	+ 2,7'

Средние поправки приняты { для стрелки № 1: + 2,3'.  
для стрелки № 3: — 1,4'.

Таблица VII.

Горизонтальная составляющая земного магнетизма.

Пункт наблюдения	Месяц и число	Время наблю- дения (по 2-му поясу)		T	v	t	τ	Δ	H
		h m	h m						
Эльстон	20.V	10 13	— 11 14	2,3449	26°09,0'	21,5°	20,2°	10	0,20803
	20.V	11 30	— 12 15	2,3486	26 03,1	24,5	23,3	10	0,20809
	20.V	12 54	— 13 24	2,3463	26 03,8	24,1	22,8	10	0,20821
	20.V	13 29	— 14 06	2,3471	26 04,1	25,0	22,2	10	0,20823
Уральск	23.V	9 36	— 10 07	2,4003	27 17,8	25,2	25,0	10	0,19920
	23.V	10 14	— 11 00	2,4004	27 18,0	26,1	25,6	10	0,19919
	23.V	10 57	— 11 29	2,4007	27 15,8	26,8	26,1	10	0,19933
	23.V	11 25	— 12 06	2,4007	27 15,8	27,4	26,6	10	0,19930
Оренбург	1.VI	7 56	— 8 31	2,4146	27 44,5	21,4	20,4	7,5	0,19658
	1.VI	9 00	— 9 33	2,4137	27 44,4	21,2	19,8	7,5	0,19671
	1.VI	9 51	— 10 19	2,4149	27 41,4	23,4	22,0	7,5	0,19677
	1.VI	10 58	— 11 26	2,4151	27 41,4	23,0	21,2	7,5	0,19678
Мелеус	5.VI	8 51	— 9 27	2,4633	29 14,8	15,0	14,8	13,5	0,18793
	5.VI	9 23	— 9 52	2,4656	29 15,6	14,8	14,4	13,5	0,18788
	5.VI	10 46	— 11 40	2,4652	29 13,9	16,0	14,8	13,5	0,18802
Уфа	10.VI	12 43	— 13 19	2,5300	30 48,8	21,4	17,9	12	0,17897
	10.VI	13 54	— 14 46	2,5316	30 47,9	19,9	18,1	12	0,17879
	10.VI	14 42	— 15 16	2,5311	30 49,6	19,2	17,8	12	0,17878
	10.VI	15 12	— 15 51	2,5292	30 52,6	17,4	17,2	12	0,17873
Елабуга	13.VI	15 30	— 15 58	2,5789	31 57,8	25,8	21,8	11	0,17274
	13.VI	16 04	— 16 30	2,5779	31 56,5	25,3	23,0	11	0,17275
	13.VI	17 30	— 17 55	2,5769	31 53,0	24,2	22,2	11	0,17298
Сарангуль	15.VI	11 08	— 11 39	2,6018	32 41,9	22,3	21,1	13	0,16937
	15.VI	11 44	— 12 12	2,6012	32 40,0	23,2	21,2	13	0,16951
	15.VI	12 52	— 13 26	2,6010	32 38,8	21,7	19,9	13	0,16957
	15.VI	15 25	— 15 46	2,5972	32 35,0	21,3	20,5	13	0,16962
Пермь	17.VI	12 49	— 13 14	2,6620	34 13,1	27,8	24,8	12	0,16231
	18.VI	9 53	— 10 58	2,6577	34 28,2	18,1	18,3	12	0,16196
	21.VI	8 55	— 9 21	2,6594	34 18,8	21,2	20,6	12	0,16220
	21.VI	7 59	— 8 33	2,6597	34 20,1	22,2	20,6	12	0,16218
Глазов	22.VI	8 08	— 8 47	2,6739	34 45,5	20,6	19,6	11	0,16043
	22.VI	9 15	— 9 44	2,6740	34 44,0	20,6	20,2	11	0,16044
	22.VI	17 25	— 17 55	2,6718	34 43,2	21,8	19,4	11	0,16069
	22.VI	17 51	— 18 21	2,6717	34 46,0	20,3	18,5	11	0,16058
Вятка	24.VI	12 23	— 12 56	2,6756	34 35,6	27,1	22,9	12	0,16077
	24.VI	12 52	— 13 31	2,6720	34 37,5	24,2	23,1	12	0,16081
	24.VI	17 20	— 18 02	2,6634	34 35,5	18,0	17,6	12	0,16137
	25.VI	10 22	— 10 48	2,6696	34 39,0	18,5	18,3	12	0,16088
Мантурово	28.VI	8 25	— 9 03	2,6589	34 12,6	24,1	20,3	12	0,16260
	28.VI	13 34	— 14 06	2,6607	34 12,6	26,9	23,5	12	0,16243
	28.VI	14 02	— 14 31	2,6612	34 12,2	26,4	23,4	12	0,16240
	28.VI	14 47	— 15 17	2,6628	34 11,0	26,0	22,2	12	0,16239
Урбах	21.V	14 43	— 15 16	2,4056	27 40,1	19,3	18,1	13	0,19709
Федоровское	26.V	5 44	— 6 11	2,3899	27 37,2	17,5	18,2	13	0,19895
Бурдино	27.V	6 12	— 6 41	2,3994	27 33,9	19,6	19,0	13	0,19840
Илек	28.VI	6 03	— 12 35	2,4160	27 46,5	23,4	19,6	14	0,19648
Городище	29.V	9 49	— 10 24	2,4138	27 44,2	22,6	21,0	8	0,19672
Стерлитамак	7.VI	8 59	— 9 36	2,4996	29 44,8	22,6	21,3	11	0,18476



Таблица VIII.

Table with 12 columns: Пункт наблюдений, Складные, Испр. складные, Мес. и час, Время наблюдений (по 2-му поясу), Испр. складные, Мес. и час, Время наблюдений (по 2-му поясу), Стрелка, Набл. значение, Поправка, Испр. значение. Rows include locations like Эмзон, Уральск, Оренбург, Мелеуэ, Уфа, Благура, Сарангуль, Пенза, Глазов, Вача, Мангурское, Урбаш, Федоровское, Бураино, Илек, Городище, Стрелтамак.

Continuation of the table from page 244, containing magnetic observation data for various locations including Сарангуль, Пенза, Глазов, Вача, Мангурское, Урбаш, Федоровское, Бураино, Илек, Городище, Стрелтамак.



## СЕРЕБРЯНО-ПЕРСУЛЬФАТНЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАРГАНЦА В ЖЕЛЕЗЕ И СТАЛИ.

С. В. Липин.

Предметом настоящего исследования является определение марганца в железе и углеродистой стали по серебряно-персульфатному способу <sup>1)</sup>. Среди существующих уже исследований в этой области наибольшего внимания заслуживают работы Химической Секции Verein'a Deutscher Eisenhüttenleute и недавно опубликованная работа К. Swoboda, произведенная в лаборатории завода бр. Böhler.

Задачей Химической Секции V. D. E. являлись выяснение влияния избытка применяемых реактивов на величину титра раствора мышьяковистой кислоты <sup>2)</sup>. Исследование показало, что избыток азотной кислоты, азотнокислого серебра и надсерниокислого аммония в разной степени влияют на величину титра мышьяковистой кислоты, но всегда в сторону понижения его. Добавка серной кислоты, при постоянном количестве других реактивов, напротив, повышает титр. Результатом этого исследования явился новый вариант серебряно-персульфатного способа, выработанный Химической Секцией и рекомендованный Verein'ом.

Несколько раньше этого исследования в печати появилась работа U. S. Steel Corporation <sup>3)</sup>, легшая в основу стандартного метода определения марганца Американского Общества Испытания Материалов.

Исследование К. Swoboda <sup>4)</sup> имеет целью выяснение влияния: 1) кипячения раствора для разрушения избытка надсерниокислого аммония, 2) разрушения азотнокислого серебра перед производством титрования и 3) различных добавок, применяемых с этой целью (NaCl, HCl, HF, KF). Указанным автором было установлено понижение титра мышьяковистой кислоты и приближение его к теоретическому как при кипячении раствора, так и при применении хлористого натрия и др. добавок. На основании своих исследований Swoboda установил еще один вариант серебряно-персульфатного способа, описанный ниже. По данным Swoboda, предлагаемый им метод осуществляет ход реакции наиболее близкий к теоретическому и дает наибольшее постоянство титра при изменении содержания марганца.

<sup>1)</sup> По предложению К. Г. о р г а (Zeitschr. f. Ang. Chemie, 36 (1923), 611) метод этот назван серебряно-персульфатным и отличается от персульфатного метода К. Л. о г г е, при котором в отсутствие азотнокислого серебра марганец окисляется до  $MnO_2$ . Такая терминология принята Химической Секцией V. D. E.

<sup>2)</sup> Stahl u. Eisen, 35 (1915), 947.

<sup>3)</sup> Journ. of Ind. and Engin. Chem., 1912, 801.

<sup>4)</sup> Zeitschr. f. anal. Chem., 64 (1924), 156.



Целью настоящей работы является сравнительное исследование трех вышеуказанных вариантов серебряно-персульфатного способа в применении к железу и стали с содержанием марганца до 2%.

Определение марганца в продуктах с более высоким содержанием его (сталь Гадфильда, кремнисто-марганцовая сталь, ферро-марганец), равно как и определение его в специальных сортах стали, выходит за пределы настоящей работы.

1. Метод А. С. Т. М. <sup>1)</sup>. В маленькой Эрленмейеровской колбе растворяют, при нагревании на водяной бане, 0,1—0,3 г стали—в зависимости от содержания марганца в образце—в 15 куб. см азотной кислоты плотностью 1,20. Окисление углерода может быть ускорено прибавлением 1 куб. см 10% раствора надсерникового аммония. Когда навеска полностью растворится и раствор станет прозрачным, прибавляют 15 куб. см 0,133% раствора азотнокислого серебра. Раствор нагревают до кипения, прибавляют 10 куб. см раствора надсерникового аммония и ставят в теплое место до развития окрашивания. Когда окрашивание разовьется, охлаждают в проточной воде и разбавляют водой до 75 куб. см. Прибавляют 10 куб. см 0,2% раствора хлористого натрия и титруют раствором мышьяковистокислого натрия (0,8 г в литре).

Исследование было произведено на синтетических растворах, в условиях соответствующих условиям анализа, т. е. в присутствии соответствующего количества железа и в растворе соответствующей кислотности—при средней навеске в 0,2 г.

Необходимое количество железа было вычислено, исходя из среднего содержания Fe—99%, и составляет 0,8575 г  $Fe(NO_3)_3$ .

Так как реакция растворения железа в азотной кислоте не может быть точно выражена уравнением, то количество свободной  $HNO_3$  после растворения навески, было определено экспериментально.

Четыре навески материала с различным содержанием углерода, по 0,2 г каждая, были растворены в 15 куб. см азотной кислоты плотностью 1,20. После охлаждения каждая порция влита в 100 куб. см 1 N раствора едкого натра, разбавлена водой до 250 куб. см, отфильтровано 50 куб. см полученного раствора и свободная щелочь оттитрована 0,1 N соляной кислотой. Количество щелочи, израсходованной на осаждение железа, определялось вычислением, исходя из состава материала.

Полученные результаты приведены в таблице I.

Таблица I.

Химический состав			Свободной $HNO_3$ найдено:
C %	Si %	Mn %	
0,05	0,01	0,04	5,0821 ±
0,50	0,18	0,49	5,0947 ±
1,01	0,21	0,40	5,0232 ±
1,08	0,05	0,37	4,9505 ±

<sup>1)</sup> American Society of Testing Materials, A. S. T. M. Standards, I, p. 287 (1927).

В среднем получилось 5,0376 г свободной  $\text{HNO}_3$ , что соответствует 13,0 куб. см азотной кислоты плотностью 1,20 или 5,51 куб. см кислоты плотностью 1,4. Следовательно, каждая порция синтетического раствора должна была содержать 0,8575 г  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  и 5,51 куб. см  $\text{HNO}_3$  плотностью 1,4.

При производстве исследования применялись следующие растворы:

Раствор А: 143,2 г  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ <sup>1)</sup> и 550 куб. см азотной кислоты плотностью 1,4 в литре.

Раствор В: 2,3016 г  $\text{KMnO}_4$  в литре. Марганцовокислый калий<sup>2)</sup>, предварительно высушенный в эксикаторе, растворен в воде, раствор подкислен 15 куб. см  $\text{HNO}_3$  плотностью 1,20 и восстановлен 40 куб. см 3% раствора перекиси водорода. После 10-минутного кипячения, для разрушения избытка перекиси, раствор был охлажден и разбавлен до одного литра, 1 куб. см раствора содержал 0,000800 г марганца.

Раствор мышьяковистокислого натрия содержал 0,8 г этой соли в литре. Теоретический титр этого раствора был установлен при помощи 0,01 N раствора иода и перечислен на марганец, исходя из реакции:



При навеске в 0,2 г титр раствора составлял 0,0754% Mn.

Надсерникислый аммоний был исследован на содержание  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  титрованием раствором шавелевой кислоты в присутствии сернического серебра и обратным титрованием 0,1 N раствором марганцовокислого калия.

Применявшийся при исследовании реактив содержал не менее 95,4%  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ <sup>3)</sup>.

Для получения растворов, соответствующих навеске в 0,2 г при разных содержаниях марганца, бралось 10 куб. см раствора А, к нему прибавлялось нужное количество раствора В и разбавлялось водой до 15 куб. см. Таким образом, все определения велись при объеме равном объему раствора, получающегося при растворении навески и в условиях соответствующей кислотности.

Для взятия раствора В применялись пипетки емкостью в 1 куб. см с делениями в 0,01 куб. см и в 10 куб. см с делениями в 0,02 куб. см. Обе пипетки были предварительно прокалиброваны и каждый раз вводились соответствующие поправки.

Бюретка в 50 куб. см тоже была прокалибрована и каждый раз делалась поправка на основании полученной кривой поправок.

Найденные ошибки бюретки и пипеток лежали в пределах допустимых ошибок, установленных Главной Палатой мер и веса.

Отчеты показаний бюретки производились при помощи визира Bergman-Göckel'a, через две минуты после выливания жидкости.

1) Реактив от Kahlbaum'a был исследован на отсутствие марганца.

2) Препарат от Kahlbaum'a „mit Garantieschein“.

3) От Kahlbaum'a — продукция довоенного времени. Реактив Merck'a позднейшего изготовления содержит 97,9%, а реактив этой же фирмы, полученный в текущем году, 100%  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ .



В применении к синтетическим растворам метод А. С. Т. М. дал результаты, приведенные в таблице II.

Таблица II.

Mn %	Состав раствора			Израсход. $As_2O_3$ куб. см	Титр		Отклонение от теоретического титра
	A куб. см	B куб. см	Воды куб. см		в граммах	в %	
0,1	10,0	0,25	4,75	1,13	0,0001770	0,0885	+ 0,0131
0,2	"	0,50	4,50	2,36	0,0001695	0,0848	+ 0,0094
0,4	"	1,00	4,00	4,84	0,0001653	0,0827	+ 0,0073
0,6	"	1,50	3,50	7,55	0,0001590	0,0795	+ 0,0041
0,8	"	2,01	3,00	10,28	0,0001564	0,0782	+ 0,0028
1,0	"	2,52	2,50	12,37	0,0001630	0,0815	+ 0,0061
1,2	"	3,02	2,00	14,91	0,0001620	0,0810	+ 0,0056
1,4 <sup>1)</sup>	"	3,53	1,50	17,79	0,0001587	0,0794	+ 0,0040
1,6 <sup>2)</sup>	"	4,04	1,00	20,46	0,0001580	0,0790	+ 0,0036
1,8	"	4,54	0,50	22,42	0,0001620	0,0810	+ 0,0056
2,0	"	5,04	—	24,22	0,0001665	0,0833	+ 0,0079

Количества израсходованной мышьяковистой кислоты, приведенные в столбце 5, являются средними результатами из трех определений<sup>3)</sup>.

Результаты, приведенные в таблице II, изображены графически на прилагаемой диаграмме (рис. 1).

2. Метод V. D. E. Навеску в 0,2 г растворяют в 15 куб. см азотной кислоты плотностью 1,20, нагревают до удаления окислов азота, прибавляют 50 куб. см 0,01 N раствора  $AgNO_3$  и 2 куб. см 50% раствора надсерникового аммония (при материалах с содержанием марганца выше 1% — соответственно больше) и дают постоять приблизительно 5 минут при температуре около 60° C. Охладив раствор, разбавляют

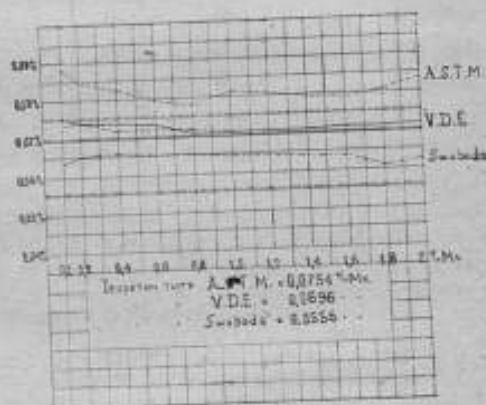


Рис. 1.

1) При навеске в 0,2 г выпадает осадок окислов марганца; согласно примечания к инструкции А. С. Т. М. увеличены количества  $AgNO_3$  и  $NaCl$ : взято 25 куб. см  $AgNO_3$  и 17 куб. см  $NaCl$ .

2) Осадок окислов марганца выпадает и при увеличенных количествах  $AgNO_3$  и  $NaCl$ . Взято 25 куб. см 0,01N раствора азотнокислого серебра и 20 куб. см  $NaCl$ .

3) Наибольшее расхождение в количествах израсходованной мышьяковистой кислоты при отдельных определениях составило 0,10 куб. см, что соответствовало в указанном случае 1,32% определяемой величины или 0,008% Mn.

его водою до 120—130 куб. см, прибавляют 3 куб. см 1,2% раствора хлористого натрия и титруют раствором мышьяковистой кислоты <sup>1)</sup>.

Исследование было произведено на синтетических растворах того же состава, что в предыдущем методе.

Раствор мышьяковистой кислоты был получен растворением в воде при кипячении 0,5 г  $As_2O_3$  <sup>2)</sup> и 1,5 г  $NaHCO_3$  и разбавлением до одного литра. Титр раствора был установлен подометрически по предыдущему и был равен 0,0696% Mn при навеске в 0,2 г <sup>3)</sup>.

Полученные результаты приведены в таблице III и изображены графически на той же диаграмме (рис. 1) <sup>4)</sup>.

Таблица III.

Mn %	Состав раствора			Расход $As_2O_3$ куб. см <sup>5)</sup>	Титр		Отклонено от теорети- ческого титра
	A куб. см	B куб. см	Воды куб. см		в граммах	в %	
0,1	10,0	0,25	4,75	1,33	0,0001504	0,0752	+0,0056
0,2	"	0,50	4,50	2,71	0,0001476	0,0738	+0,0042
0,4	"	1,00	4,00	5,42	0,0001476	0,0738	+0,0042
0,6	"	1,50	3,50	8,23	0,0001458	0,0729	+0,0033
0,8	"	2,01	3,00	11,32	0,0001420	0,0710	+0,0014
1,0	"	2,52	2,50	14,16	0,0001424	0,0712	+0,0016
1,2 <sup>6)</sup>	"	3,02	2,00	16,97	0,0001424	0,0712	+0,0016
1,4	"	3,53	1,50	19,80	0,0001426	0,0713	+0,0017
1,6	"	4,04	1,00	22,59	0,0001431	0,0716	+0,0020
1,8	"	4,54	-0,50	25,52	0,0001423	0,0712	+0,0016
2,0	"	5,04	—	28,16	0,0001432	0,0716	+0,0020

3. Метод К. Swoboda. 0,25 г стали (при содержании марганца до 0,5% — удвоенное количество) растворяют в Эрленмейеровской колбе емкостью в 500 куб. см, в 25 куб. см смеси разбавленных азотной и серной кислот (250 куб. см концентрированной  $HNO_3$ , 40 куб. см крепкой  $H_2SO_4$  и 1 л воды <sup>7)</sup>) и кипятят до удаления окислов азота. Прибавив

<sup>1)</sup> Stahl u. Eisen, 35 (1915), 947; Lunge-Berl., 7 Aufl. II, стр. 198.

<sup>2)</sup> Препарат от Merck'a.

<sup>3)</sup> Взвешанной навеской  $As_2O_3$  (1,00047 г на 2 литра) отмечает титр 0,0694% Mn.

<sup>4)</sup> Исследование метода V. D. E. было произведено Swoboda, однако, полученные им результаты оказались неблагоприятными для метода. Настоящее исследование показывает ошибочность данных и заключений этого автора.

<sup>5)</sup> Наибольшее расхождение между отдельными определениями составило 0,07 куб. см раствора  $As_2O_3$ , что соответствует 0,35% определяемой величины или 0,005% Mn.

<sup>6)</sup> При этом и последующих определениях взято было 50 куб. см 0,02 N раствора  $AgNO_3$ , 4 куб. см 50% раствора надсернистого аммония и 6 куб. см NaCl.

<sup>7)</sup> Применение серной кислоты с целью полного разрушения избытка надсернистого аммония впервые было предложено Heike (см. Ledebur-Heike — Leitfaden für Eisenhüttenlaboratorien, (1911), стр. 114; Stahl u. Eisen, 32 (1912), (1914).

10 куб. см 0,1 N раствора азотнокислого серебра, разбавляют до 200 куб. см, прибавляют 4 куб. см 50% раствора надсерникового аммония и кипятят 3—5 минут до прекращения выделения пузырьков кислорода. Охладив раствор, прибавляют 20 куб. см 10% раствора фтористого калия или 25 капель (1,5 куб. см) плавиковой кислоты и тотчас титруют мышьяковистой кислотой (0,5 г  $As_2O_3$  и 1,5 г  $NaHCO_3$  в одном литре) до обесцвечивания раствора или появления — при более высоком содержании марганца — зеленоватого оттенка<sup>1)</sup>.

В настоящем исследовании в качестве добавки применялся фтористый калий.

При работе применялись следующие растворы:

Раствор *C*<sup>2)</sup>: 59,05 г  $Fe_2(SO_4)_3$ , 28,7 куб. см серной кислоты плотностью 1,84 и 316 куб. см  $HNO_3$  плотность 1,40 в литре раствора<sup>3)</sup>.

Раствор *D*: 1,4387 г  $KMnO_4$  в литре, приготовленный аналогично раствору *B*, 1 куб. см этого раствора содержал 0,000500 г марганца.

Титр раствора мышьяковистой кислоты, установленный подометрическим путем, отвечал 0,0556% Mn при навеске в 0,25 г.

Полученные результаты приведены в таблице IV.

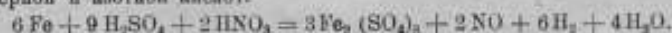
Таблица IV.

Mn %	Состав раствора			Израсход. $As_2O_3$ куб. см <sup>2)</sup>	Титр		Отклонение от теорети- ческого титра
	<i>C</i> куб. см	<i>D</i> куб. см	Воды куб. см		в граммах	в %	
0,1	15,0	1,00	9,0	3,18	0,0001572	0,0315	+ 0,0037
0,2	"	2,01	8,0	6,16	0,0001632	0,0326	+ 0,0048
0,4	"	4,04	6,0	12,30	0,0001642	0,0328	+ 0,0050
0,5	"	2,52	7,5	7,74	0,0001628	0,0651	+ 0,0095
0,6	"	3,02	7,0	9,28	0,0001627	0,0651	+ 0,0095
0,8	"	4,04	6,0	12,50	0,0001616	0,0646	+ 0,0090
1,0	"	5,04	5,0	15,66	0,0001609	0,0644	+ 0,0088
1,4	"	7,05	3,0	22,05	0,0001599	0,0640	+ 0,0084
1,6	"	8,05	2,0	23,11	0,0001603	0,0641	+ 0,0085
1,8 <sup>4)</sup>	"	9,02	1,0	26,52	0,0001528	0,0611	+ 0,0055
2,0 <sup>4)</sup>	"	10,00	—	32,13	0,0001556	0,0622	+ 0,0066

<sup>1)</sup> К. S w e b o d a — Cit. loco.

<sup>2)</sup> При первых трех определениях (отвечающих содержанию Mn до 0,5%) был взят раствор с удвоенным содержанием железа.

<sup>3)</sup> Состав раствора был вычислен, исходя из реакции растворения железа в смеси серной и азотной кислот:



<sup>4)</sup> При нагревании последних двух растворов они заметно мутнели, напоминали по виду явление выпадения перекиси марганца при недостатке  $AgNO_3$ . При дальнейшем нагревании и кипячении растворы прояснились.

<sup>5)</sup> Наибольшее расхождение между отдельными определениями составляло 0,20 куб. см раствора  $As_2O_3$ , что отвечало 2,15% определяемой величины или 0,013% Mn.

Изменение титра, перечисленного на навеску в 0,25 г, изображено графически на диаграмме рис. 1.

Рассмотрение полученных данных приводит к следующим выводам:

1. Во всех трех случаях кривые титра на всем протяжении от 0,1% до 2% Mn лежат выше теоретической величины, отвечающей ходу реакции по уравнению:

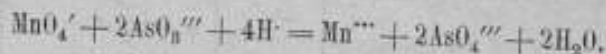


Это противоречит данным Swoboda, согласно которым при применении метода V. D. E. с добавкой NaCl кривая титра лежит ниже теоретической величины.

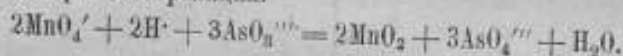
2. Наиболее близко к теоретическому титру лежит кривая, полученная для способа V. D. E. Отклонение получается меньшее, чем для метода Swoboda.

3. Метод Swoboda дает наибольшее постоянство титра. Применение его ограничено, однако, содержанием марганца в 1,6%, свыше которого кривая титра делает скачок, вызванный, по видимому, неполным окислением марганца. Метод A. S. T. M. обнаруживает непостоянство титра при изменении содержания марганца.

Из сказанного видно, что метод V. D. E. осуществляет ход реакции наиболее близкий к теоретическому, выражаемому по Swoboda уравнением:



По Traversy<sup>1)</sup> при титровании мышьяковистой кислотой может протекать одновременно реакция:



Последняя реакция может являться причиной некоторого преувеличения титра.

Роль хлористого серебра по Langy<sup>2)</sup> каталитическая. В виду незначительной растворимости, действие его может быть лишь поверхностным и будет тем больше, чем мельче осадок. Поэтому можно ожидать, что хлористое серебро, осажденное сильно разбавленным раствором хлористого натрия, будет действовать сильнее.

Это предположение было подтверждено титрованием двух порций раствора, содержащего 2 мг Mn, при прибавлении одного и того же количества NaCl в виде растворов различных концентраций.

Прибавлено NaCl	Израсходовано As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
	I	II
3 куб. см 1,2% раствора	14,18 куб. см	14,12 куб. см
30 » » 0,12% »	14,40 » »	14,35 » »

В первом случае титр раствора As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, в среднем, равен 0,0713% Mn, во втором 0,0701% Mn.

<sup>1)</sup> Zeitschr. f. anal. Chemie 59, (1920), 314.

<sup>2)</sup> Zeitschr. f. anorg. und allgem. Chemie., 152, (1926), 2, 197.

Кроме этого необходимо указать, что в присутствии железа титр получается выше. Так, титр раствора  $As_2O_3$ , установленный в присутствии железа, был равен  $0,0723\%$ , а в отсутствии его он оказался равным  $0,0703\%$  Мн. Зеленовато-желтый цвет солей железа затемнит момент исчезновения окраски марганцовой кислоты.

На ряду с изложенными соображениями, могущими объяснить преувеличение титра против теоретического, может быть высказано еще одно предположение, а именно, что зеленый цвет солей трехвалентного марганца и розовый цвет небольших количеств марганцовой кислоты являются цветами взаимно дополнительными, вследствие чего обесцвечивание раствора наступает раньше, чем реакция протечет сполна.

Это явление имеет место при определении марганца по способу Volhard-Wolffa в присутствии солей никкеля <sup>1)</sup>.

В пользу этого предположения говорит то, что теоретическое восстановление марганца до двухвалентной формы не удается при обычном титровании мышьяковистой кислотой в присутствии HCl <sup>2)</sup>, но может быть достигнуто электрометрическим титрованием <sup>3)</sup>.

Результаты определения марганца в синтетических растворах тремя исследованными методами приведены в таблице V. В качестве исходного титра для всех методов принят титр, установленный по 2 мг марганца. Для метода A. S. T. M. и для метода V. D. E. это количество его составляет  $1\%$ , а для метода Swoboda  $0,8\%$ .

Из приведенной таблицы видно, что метод Swoboda дает наиболее правильные результаты при содержании марганца до  $1,6\%$ , т. е. в пределах обычного содержания марганца в сталях.

Таблица V.

Истинное содержание Mn %	Вычисленное при помощи эмпирического титра		
	A. S. T. M. T = 0,0815 %	V. D. E. T = 0,0712 %	Swoboda T = 0,0646 %
0,1	0,092	0,095	0,103
0,2	0,192	0,193	0,198
0,4	0,395	0,386	0,403
0,5	—	—	0,496
0,6	0,615	0,586	0,599
0,8	0,834	0,802	0,800
1,0	1,000	1,000	1,004
1,2	1,207	1,200	—
1,4	1,438	1,395	1,414
1,6	1,651	1,593	1,612
1,8	1,811	1,811	1,903
2,0	1,958	1,989	2,076

<sup>1)</sup> Bauer-Deiss—Probenahme und Analyse von Eisen und Stahl, II Aufl.

<sup>2)</sup> При применении соляной кислоты в качестве добавки, служащей для окисления серебра, реакция протекает по уравнению:  $2MnO_4^- + 6H^+ + 5AsO_3^{3-} = 2Mn^{2+} + 5AsO_4^{3-} + 3H_2O$  (Swoboda—Cit. loco).

<sup>3)</sup> R. Lang—Cit. loco.



Однако, наряду с большой точностью, метод этот обладает существенными недостатками. Во-первых, получение точных результатов связано со значительными трудностями, вследствие недостаточно определенных условий работы (кипчение до прекращения выделения пузырьков кислорода). Во-вторых, метод требует значительно большей затраты времени, чем метод В. Д. Е.

Метод В. Д. Е., требует значительно меньшего времени, дает результаты несколько менее близкие, чем метод Swoboda, но, как будет показано ниже, разница лежит в пределах ошибки наблюдения.

Метод А. С. Т. М. дает результаты наименее приемлемые.

Экспериментальная ошибка установки титра. Эта ошибка была вычислена по формулам теории наименьших квадратов на основании полученных экспериментальных данных. Для этого были взяты синтетические растворы, отвечающие содержанию 0,1%, 1,0% и 2,0% Mn и для каждого из этих растворов был произведен ряд определений титра. На основании полученных данных в каждом случае были вычислены средняя и наибольшая ошибки отдельного наблюдения <sup>1)</sup>. Полученные данные приведены в таблице VI.

Таблица VI <sup>2)</sup>.

№	0,1% Mn			1,0% Mn			2,0% Mn		
	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> куб. см	T %	d	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> куб. см	T %	d	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> куб. см	T %	d
1	1,32	0,0758	+ 0,0027	13,90	0,0725	+ 0,0004	27,90	0,0723	+ 0,0001
2	1,39	0,0719	- 0,0012	13,96	0,0722	+ 0,0001	27,92	0,0722	-
3	1,35	0,0741	+ 0,0010	14,02	0,0719	- 0,0002	27,95	0,0721	- 0,0001
4	1,36	0,0735	+ 0,0004	14,00	0,0720	- 0,0001	27,90	0,0723	+ 0,0001
5	1,34	0,0746	+ 0,0015	13,90	0,0725	+ 0,0004	27,85	0,0724	+ 0,0002
6	1,38	0,0725	- 0,0006	14,00	0,0720	- 0,0001	27,92	0,0722	-
7	1,41	0,0709	- 0,0022	13,96	0,0722	+ 0,0001	27,91	0,0722	-
8	1,40	0,0714	- 0,0017	14,02	0,0719	- 0,0002	27,93	0,0722	-
9	-	-	-	14,03	0,0718	- 0,0003	-	-	-
$T_{cp} = 0,0731\%$ $f = \pm \sqrt{\frac{\sum d^2}{n-1}} = \pm 0,0017\%$ $f_{max} = 3f = \pm 0,0051\%$			$T_{cp} = 0,0721\%$ $f = \pm 0,00026\%$ $f_{max} = \pm 0,00078\%$			$T_{cp} = 0,0722\%$ $f = \pm 0,00010\%$ $f_{max} = \pm 0,00030\%$			

Из приведенных данных видно, что в интервале от 1% до 2% Mn отклонение величины титра таблицы III от среднего титра для этого интервала (0,07135%) лежит в пределах наибольшей ошибки отдельного наблюдения. Следовательно, пользуясь на всем протяжении кривой постоянным титром, равным одному из значений его в интервале 1—2% Mn, мы сделаем ошибку, не превосходящую ошибки отдельного наблюдения.

<sup>1)</sup> Так как точки кривой титра построены на основании 2—3 наблюдений, то это не дает права применить к ней формулу, выражающую ошибку среднего результата.

<sup>2)</sup> При определении ошибок наблюдения применялся свежий раствор As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

К тому же заключению можно прийти, исходя из среднего значения титра (табл. VI) и наибольшей ошибки среднего результата.

Наибольшая ошибка определения Mn в синтетических растворах может быть вычислена следующим путем.

Обозначив титр раствора мышьяковистой кислоты через  $T$ , наибольшую ошибку установки его через  $\tau$ , количество раствора  $As_2O_3$ , пошедшее на титрование, через  $v$  и ошибку отчета объема по бюретке через  $\delta$ , имеем:

$$x = Tv,$$

откуда:

$$dx = Tdv + vdT = T\delta + v\tau.$$

При установке титра по раствору, отвечающему содержанию Mn в 1‰,  $T = 0,0712\%$  и  $\tau = f_{max} = 0,00078\% < 0,0008\%$ . Полагая наибольшую ошибку одного отчета показания бюретки при пользовании визиром равной 0,025 куб. см, имеем  $\delta = 2 \times 0,025 = 0,05$  куб. см.

Для различных содержаний марганца получаются значения  $\Delta$ , приведенные в таблице VII.

Результаты, приведенные в таблице VII, могут быть обобщены в виде формулы:

$$\Delta = 0,005\% + 0,005 \times (\text{на каждые } 0,5\% \text{ присутствующего Mn}),$$

где  $\Delta$  — наибольшая ошибка определения.

Результаты определения марганца в синтетических растворах, приведенные в таблице V, достаточно хорошо укладываются в указанных пределах.

Ошибка определения марганца в сталях. Результаты определения случайной ошибки, произведенного на двух образцах стали, приведены в таблице VIII. При вычислении содержания марганца принят титр, установленный по 2 мг марганца в присутствии железа и равный 0,0721‰.

Найденные величины наибольшей ошибки с достаточной точностью укладываются в пределах ошибок, вычисленных для синтетических растворов. Могущая иметь место постоянная ошибка, происходящая вследствие предполагаемого изменения титра с изменением содержания марганца, лежит в пределах ошибки установки титра. Поэтому найденные ошибки могут быть приняты, как ошибки определения.

<sup>1)</sup> Цифры этого столбца представляют собой количества раствора  $As_2O_3$ , пересчитанные на количество марганца, точно соответствующее указанному процентному содержанию его.

Таблица VII.

Mn %	$As_2O_3$ куб. см <sup>1)</sup>	$T\delta$	$v\tau$	$\Delta$ %
0,1	1,33	0,0036	0,0011	0,005
0,2	2,71	0,0036	0,0022	0,006
0,4	5,37	0,0036	0,0043	0,008
0,6	8,23	0,0036	0,0066	0,010
0,8	11,26	0,0036	0,0090	0,013
1,0	14,05	0,0036	0,0112	0,015
1,2	16,86	0,0036	0,0135	0,017
1,4	19,63	0,0036	0,0157	0,019
1,6	22,37	0,0036	0,0179	0,022
1,8	25,29	0,0036	0,0202	0,024
2,0	27,94	0,0036	0,0224	0,026

Таблица VIII.

№	I			II		
	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> куб. см	Mn %	ε	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> куб. см	Mn %	ε
1	1,60	0,116	+ 0,001	11,48	0,829	- 0,004
2	1,55	0,112	- 0,003	11,50	0,830	- 0,003
3	1,61	0,116	+ 0,001	11,52	0,832	- 0,001
4	1,60	0,116	+ 0,001	11,60	0,838	+ 0,005
5	1,55	0,112	- 0,003	11,55	0,834	+ 0,001
6	1,63	0,118	+ 0,003	11,56	0,835	+ 0,002
7	1,60	0,116	+ 0,001	11,60	0,838	+ 0,005
8	1,65	0,119	+ 0,004	11,51	0,831	- 0,002
9	1,58	0,114	- 0,001	—	—	—

% Mn <sub>ср</sub> = 0,115 % f = ± 0,0022 % f <sub>max</sub> = 0,007 %	% Mn <sub>ср</sub> = 0,833 % f = ± 0,0035 % f <sub>max</sub> = ± 0,011 %
--	--

Таблица IX.

№ образца	Серебрино-персульфатн. способ		Весовой способ Rothe			
			Взвешивание в виде Mn <sub>2</sub> O <sub>4</sub>		Взвешивание в виде Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	
	I	II	I	II	I	II
1	0,13 %	0,14 %	0,13 %	0,14 %	0,13 %	0,14 %
2 <sup>2)</sup>	0,65	0,66	0,67	0,68	0,68	0,68
3	0,89	0,90	0,87	0,86	0,87	0,86

MnSO<sub>4</sub>. Сравнительные результаты приведены в таблице IX.

<sup>1)</sup> Навеска в 10 г растворена в азотной кислоте, кремниевая кислота переведена в нерастворимое состояние и отфильтрована; фильтрат сушен и железо извлечено афром в аппарате Rothe. Солянокислый раствор выпарен с серной кислотой, сухой остаток сплавлен с едким натром и перекисью натрия. Сила раствора в воде, осадок отфильтрован. Осадок, содержащий марганец, кобальт, никель и остатки железа, растворен в соляной кислоте. Железо осаждено уксуснокислым аммонием, осадок отфильтрован, никель и кобальт осаждены в фильтрате сероводородом и отфильтрованы. Из полученного фильтрата марганец осажден бромом в присутствии аммиака, осадок освоен, прокален и взвешен в виде Mn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. После взвешивания переведен в MnSO<sub>4</sub> и вторично взвешен (см. Bauer-Deiss—Probenahme und Analyse von Eisen und Stahl, II Aufl.).

<sup>2)</sup> Содержание марганца в образце № 2, определенное по способу Wolff и d. Wolffa с отфильтрованием осадка гидрата окиси железа, составило 0,72%, т. е. получился повышенный результат, как этой найдено было Deiss'ом для этого способа. При титровании в присутствии осадка найдено было 0,79% Mn, так как образец содержал 0,14% хрома.

Для фактической проверки точности определения, марганец был определен в трех образцах стали как серебрино-персульфатным способом, так и весовым способом по Rothe<sup>1)</sup>. В последнем случае взвешивание производилось дважды—в виде Mn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> и в виде

Точность определения марганца весовым путем по способу Rothe составляет по Deissy <sup>1)</sup> при содержании Mn:

$$\begin{aligned} \text{от } 0 \text{ до } 0,2\% &: \pm 0,01\% \\ \text{» } 0,2 \text{ » } 1,0\% &: \pm 0,02\% \end{aligned}$$

Наибольшие допустимые расхождения между двумя отдельными определениями марганца по этому способу равны удвоенной величине, т. е. 0,02% при содержании Mn до 0,2% и 0,04% при содержании его от 0,2% до 1,0%.

Из данных, приведенных в таблице IX, видно, что расхождения между результатами определения марганца серебряно-персульфатным методом и весовым методом не превышают указанной величины наибольших допустимых расхождений между отдельными определениями его весовым путем.

Так как точность определения обоими методами практически может быть принята одинаковой, то установка титра раствора  $As_2O_3$  может быть произведена как по синтетическому раствору в присутствии железа, так и по стандартному образцу стали, содержание Mn в котором определено весовым путем.

Влияние хрома было исследовано на синтетических растворах. Для этого был приготовлен раствор аналогичный раствору А, но содержащий чистый хромовый ангидрид, восстановленный перекисью водорода, в количестве, отвечающем содержанию 1% Cr при навеске в 0,2 г. В таблице X приведены результаты определения марганца в отсутствие хрома и в присутствии его.

Полученные результаты могут считаться в достаточной степени удовлетворительными.

Из данных таблицы IX, относящихся к образцу № 2, видно, что и по сравнению с весовым способом определение марганца по серебряно-персульфатному способу в присутствии небольших количеств хрома дает результаты, лежащие в пределах точности весового определения.

Влияние избытка надсернистого аммония и хлористого серебра. Все исследованные варианты серебряно-персульфатного способа обладают значительным недостатком, требующим изменения величины навески или количества прибавляемых реактивов при изменении содержания марганца. В целях изучения влияния избытка реактивов было произведено исследование кривой титра в интервале от 0,1 до 1% Mn с теми количествами реактивов, которые надлежит применять при содержании марганца свыше 1%. Полученные результаты приведены в таблице XI и изображены графически на диаграмме рис. 1 в виде отрезка кривой титра, проведенного пунктирной линией.

Из приведенных данных видно, что при применении удвоенных количеств азотнокислого серебра, надсернистого аммония и хлористого натрия изменения титра получились незначительные. Это дает право

Таблица X.

Mn %	Найде но	
	В отсутствие Cr	В присутствии 1% Cr
0,10	0,095 %	0,090 %
1,00	1,000	0,995
2,00	1,988	1,993

<sup>1)</sup> Bauer-Deiss — Cit. loco.



Таблица XI.

Mn %	Состав раствора			Парасход. As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> куб. см	Титр		Титр при нормальн. колич. реак- тивов
	А куб. см	В куб. см	Воды куб. см		в граммах	в %	
0,1	10,0	0,25	4,75	1,36	0,0001472	0,0736	0,0752
0,2	10,0	0,50	4,50	2,70	0,0001482	0,0741	0,0738
0,4	10,0	1,00	4,00	5,37	0,0001436	0,0718	0,0738
0,6	10,0	1,50	3,50	8,38	0,0001432	0,0716	0,0729
0,8	10,0	2,01	3,00	11,20	0,0001436	0,0718	0,0710
1,0	10,0	2,52	2,50	14,10	0,0001430	0,0715	0,0712

брать удвоенные количества их в тех случаях, когда предполагают, что содержание Mn выше 1%, при чем результат окажется правильным и в случае обнаружения меньшего содержания его.

Такая возможность в значительной степени компенсирует неудобство способа, связанное с переменной навеской.

На основании результатов настоящего исследования химической лабораторией Главной Палаты мер и весов серебряно-персульфатный способ определения марганца принят в следующей его редакции:

0,2 г железа или стали растворяют на водяной или песчаной бане в 15 куб. см азотной кислоты плотностью 1,20 и нагревают до удаления окислов азота. Прибавив 50 куб. см 0,01 N раствора AgNO<sub>3</sub> и 10 куб. см 10% раствора надсернистого аммония (при содержании марганца выше 1% — те же количества этих растворов удвоенной концентрации) и дают постоять около 5 минут при температуре около 60°C. Охладив раствор, прибавляют 50 куб. см холодной дистиллированной воды и 3 куб. см 1,2% раствора хлористого натрия (при содержании Mn выше 1% — 6 куб. см этого же раствора) и немедленно титруют раствором мышьяковистой кислоты (0,5 г As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и 1,5 г NaHCO<sub>3</sub> в литре) до исчезновения розового окрашивания. Дав жидкости стечь со стенок бюретки в течение 2 минут, отчитывают показание ее. После этого продолжают титрование до не изменяющегося окрашивания, прибавляя из бюретки по 2—3 капли раствора и отчитывая показания бюретки. Окончательным считают то показание ее, которое предшествовало прибавлению 2—3 капель раствора As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, не повлекшему за собой изменения оттенка титруемого раствора.

Установку титра раствора мышьяковистой кислоты производят по стандартному образцу стали, содержание марганца в котором определено весовым путем по способу Rothe, или по 5 куб. см 0,03 N раствора KMnO<sub>4</sub>, подкисленного азотной кислотой и восстановленного несколькими каплями 3% раствора перекиси водорода. Прибавив 5 куб. см азотной кислоты плотностью 1,4 и 10 куб. см раствора азотнокислого железа (143 г Fe(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>·9H<sub>2</sub>O в литре), окисляют надсернистым аммонием в присутствии азотнокислого серебра и поступают далее, как описано при производстве определения.

В заключение считаю своим приятным долгом выразить глубокую благодарность профессору А. А. Байкову и Д. Н. Монастырскому за руководство настоящей работой и проявленный интерес к ней.



## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИБОРА АБЕЛЯ-ПЕНСКОГО.

Г. С. Вольпе.

Прибор Абеля-Пенского служит для определения температуры вспышки легких осветительных масел. Он состоит из следующих частей (рис. 1):

- 1) резервуара  $G$  для испытуемого масла,
- 2) крышки резервуара  $D$  с подвижной заслонкой  $S$ , зажигательной лампочкой  $L$  и часовым механизмом  $T$ ,
- 3) водяной ванны  $W$ ,
- 4) треножника  $F$  с кожухом  $U$ ,
- 5) термометра  $t_1$  для определения температуры испытуемого масла и
- 6) термометра  $t_2$  для определения температуры водяной ванны.

(Подробное описание прибора помещено в Трудах Технического Комитета Главн. Управл. неоклада, сборов и казенной продажи питей, т. XXI 1908 г. стр. 66—77).

К внутренней стенке резервуара приклепан и припаян крючок  $H$ , острый конец которого служит указателем уровня при наполнении резервуара маслом. Расстояние острия крючка от верхнего края резервуара  $\beta = 18$  мм.

Для приведения в движение заслонки  $S$  (рис. 2), вращающейся вокруг оси  $z$ , применяется часовой механизм, связанный с двуплечиком  $q$ . Двуплечик снабжен двумя обращенными вниз шипами  $e_1$  и  $e_2$ . В начальном положении один из шипов ( $e_1$  рис. 2б) прилегает к укрепленной на заслонке рейке  $f$ , другой же шип ( $e_2$ ) упирается в конец задерживающей пластинки  $g$ . Желая привести заслонку в движение, заводят часовой механизм и оттягивают при помощи рычажка пластинку  $g$ . Тогда двуплечик начинает вращаться и, надавливая шипом  $e_1$  на рейку  $f$ , двигает заслонку. При достижении заслонкой крайнего положения (рис. 2а) шип  $e_1$  соскакивает с рейки, заслонка под действием пружинки  $r$  быстро возвращается в начальное положение, двуплечик же продолжает вращаться до тех пор, пока шип  $e_1$  не упрется в задерживающую пластинку  $g$ . Мы снова получаем начальное положение и лишь шипы заняли места один другого, т. е. двуплечик  $q$  повернулся вокруг оси на  $180^\circ$ .

На крышке помещается стойка  $B$  с подвешенной к ней зажигательной лампочкой  $L$ . В крышке  $D$  вырезаны три отверстия  $O_1$ ,  $O_2$  и  $O_3$ . В заслонке  $S$  вырезано два отверстия  $O_1$  и  $O_2$ , точно соответствующие одноименным отверстиям в крышке. При своем движении заслонка в крайнем положении должна открывать все три окна, как это показано на рис. 2а. В то же время помещенный на заслонке зубец  $c$  наклоняет

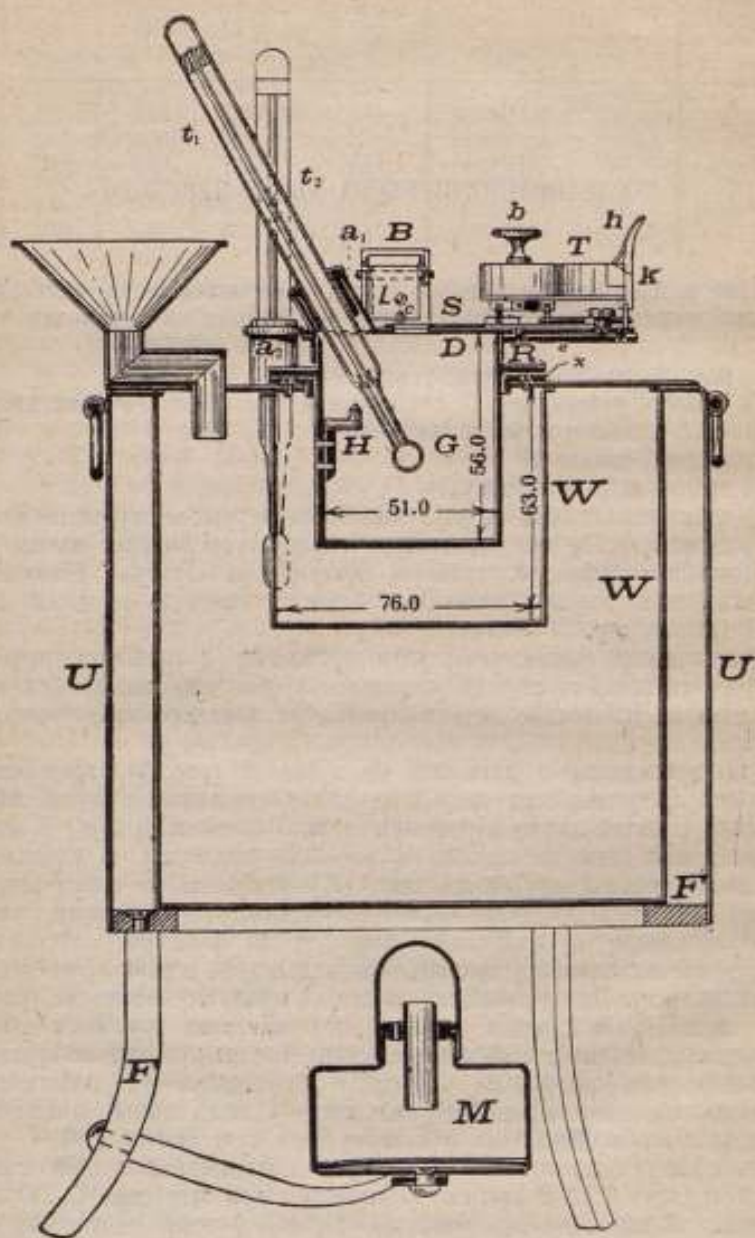


Рис. 1. Прибор Абеля-Пенского.

зажигательную лампочку, при чем фитильная трубка лампочки опускается в среднее отверстие  $O_2$ .

Величина погружения фитильной трубки, измеряемая, как расстояние от нижней поверхности крышки до нижнего края внутренней окружности трубки, должна быть равна  $\alpha = 0,75$  мм.

Если мы обратимся к схеме движения заслонки, то увидим, что величина глубины погружения трубки, даже при заданных размере зажигательной лампочки, положении оси ее вращения и положении зубца на заслонке, может принимать различные значения в зависимости от того, какой из шипов ( $e_1$  или  $e_2$ ) приводит в движение заслонку. Если шипы  $e_1$  и  $e_2$  посажены несимметрично, т. е. расстояния  $e_1q$  и  $e_2q$  не равны между собою, то большему из этих расстояний будет соответствовать более глубокое погружение фитильной трубки. Нам приходилось наблюдать разность погружений между двумя последовательными положениями шипов, достигающую до 0,6 мм.

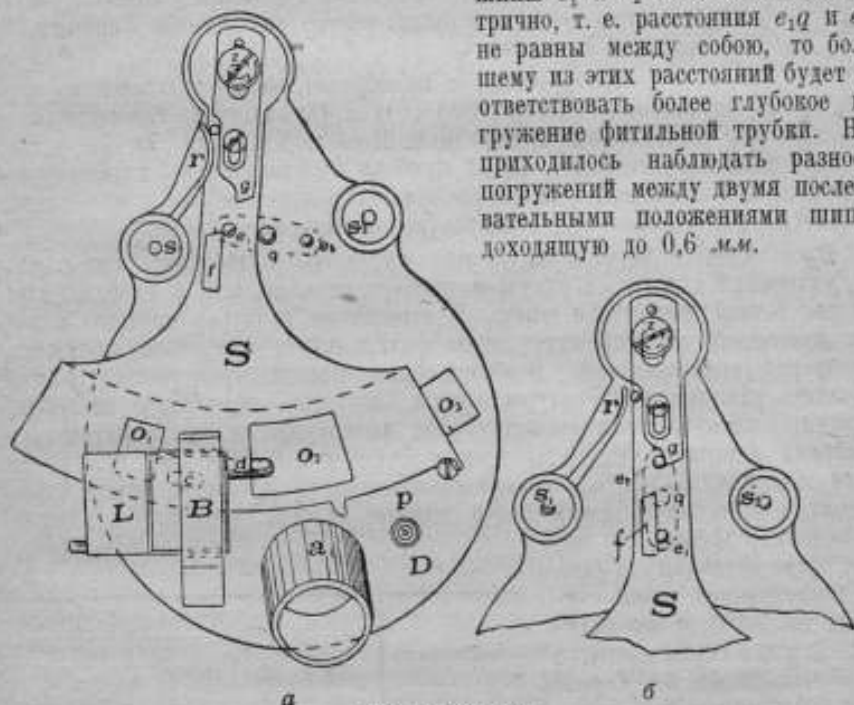


Рис. 2. Заслонка.

Обычно полагаются измерять величину погружения при совпадении окон—для этого заклинивают окна  $O_1$ . Так как в большинстве приборов наибольшее открытие заслонки не всегда сопровождается совпадением окон, то этот способ измерения надо считать неудовлетворительным. В последнее время лаборатория контрольных приборов Главной Палаты отказалась от этого метода измерения и производит последнее для обоих положений двушпечика лишь в момент наибольшего открытия заслонки, вне зависимости от полного совпадения окон.

Неодинаковое открывание заслонки разными шипами, вообще говоря, является дефектом прибора и, в зависимости от разности глубины погружения фитильной трубки, может даже послужить к браковке прибора.

Правильная посадка шпиров двуплечика играет важную роль. При посадке шпиров по схеме рис. 3 появляется так называемая „щель в заслонке“, ибо, когда шип  $e_1$  упирается в задерживающую пластинку, шип  $e_2$  уже отодвигает заслонку и в среднем окне появляется щель. Это явление повторяется через каждые  $360^\circ$  поворота двуплечика и чередуется с запаздыванием начала открывания окон заслонкой, ибо когда шип  $e_2$  упирается в задерживающую пластинку, шип  $e_1$  не доходит до рейки.



Рис. 3.

Размеры прибора Абеля-Пенского были зафиксированы в 1904 году путем обмера 20 приборов, поверенных Физико-Техническим Институтом в Германии. Нормы допусков к этим размерам были взяты по данным Германской Поверочной Комиссии.

Уклонение размеров прибора от норм отзывается на его показаниях. Еще в 1908 году в Техническом Комитете был проведен ряд опытов (см. Труды Техн. К-та т. XXI, стр. 59, 1908 г.) для изучения изменения показаний прибора в зависимости от положения зажигательной лампочки, высоты уровня масла в резервуаре и положения термометра для определения температуры испытываемого масла.

Произведенное мною исследование имело целью выяснить как влияние уклонов отдельных размеров прибора от норм, так и необходимые условия точной постановки опыта. В отношении размеров изучены влияния изменений глубины погружения фитильной трубки, высоты крючка и размеров крайних окон. В отношении условий производства опыта изучались влияния температуры ванны, частоты открывания заслонки, величины пламени, смачивания стенок резервуара и предварительного подогрева керосина. Точность всех наблюдений  $0,1^\circ\text{C}$ . Для получения такой точности, не изменяя основного правила производства опыта (приведение в действие заслонки через каждые  $0,5^\circ\text{C}$ ), проводилось 5 серий наблюдений. Начальный момент пуска заслонки для каждой последующей серии смещался на  $0,1^\circ\text{C}$  от предыдущей. Каждая серия состояла из 5 наблюдений. Серия, давшая минимальное показание, определяла температуру ванны. Например, для определений по таблице 1 температура принималась  $36,3^\circ\text{C}$ .

Таблица I.

Наблюдение	Серия				
	I	II	III	IV	V
1	36,5	36,6	36,7	36,3	36,4
2	36,5	36,6	36,7	36,3	36,4
3	36,5	36,6	36,7	36,3	36,4
4	36,5	36,6	36,7	36,3	36,4
5	36,5	36,6	36,7	36,3	36,4

Все опыты проведены на керосине плотностью  $d = 0,824$ , цвет по Штаммеру 3,2 марки, поэтому и все выводы в дальнейшем относятся к этому керосину.

I. Изучение влияния глубины погружения фитильной трубки ( $\alpha$ ). Норма:  $\alpha = 0,75$  мм. Допуск:  $\pm 0,50$  мм (принят в лаборатории контрольных приборов. По правилам:  $\pm 0,70$  мм).



$\alpha$ . . . . .	0,00 мм	0,50 мм	1,00 мм	1,50 мм
Температура вспышки . . .	36,1°C	36,3°C	36,6°C	37,1°C

Температура вспышки при  $\alpha = 0,75$  мм расчетом определяется в 36,44°C.

При существующих допусках крайние показания ( $\alpha = 0,25$  мм и  $\alpha = 1,25$  мм) 36,19°C и 36,82°C, т.е. (-0,25)°C и (+0,38)°C. Отмечается усиление влияния изменения глубины погружения с повышением фитильной трубки.

II. Изучение влияния высоты налива (крючка)  $\beta$ .  
 Норма:  $\beta = 18$  мм. Допуск:  $\pm 0,5$  мм.

$\beta$ . . . . .	15 мм	18 мм	21 мм	25 мм
Температура вспышки . . .	34,9°C	36,3°C	37,3°C	38,2°C

При существующих допусках крайние показания ( $\beta = 17,5$  мм и  $\beta = 18,5$  мм) 36,1°C и 36,5°C, т.е. (-0,2)°C и (+0,2)°C.

III. Изучение влияния размеров крайних окон. Норма:  $5,0 \times 7,5 = 37,5$  мм<sup>2</sup>. Допуск для линейных размеров:  $\pm 0,2$  мм или для площади около 6,6%.

Площадь окна в % от нормы . . .	100%	63%	30%	0%
Температура вспышки . . . . .	35,8°C	35,8°C	35,4°C	35,4°C

Окна служат для продувки газового пространства, заключенного между уровнем керосина и крышкой прибора. Процесс продувки представлен на схеме рис. 4.

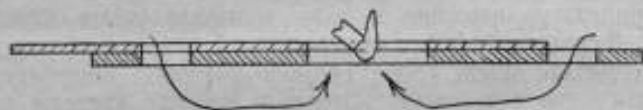


Рис. 4.

При существующем допуске в сторону уменьшения площади окна крайнее показание не отличается от нормального.

На этих опытах была закончена первая часть исследования. Прежде, чем перейти ко второй части, мы проследим, чем определяется момент вспышки. Первоначально мы имеем некоторый объем воздуха под крышкой прибора. В дальнейшем, по мере повышения температуры и связанного с ним выделения паров керосина, под крышкой получается смесь паров керосина и воздуха. Воспламеняемость смеси связана с ее составом. Если обозначить через  $A$  — объем воздуха,  $B$  — объем паров керосина,  $A_n$  — объем воздуха в момент вспышки и  $B_n$  — объем паров керосина в тот же момент, то для всех значений  $\frac{B}{A}$  меньших  $\frac{B_n}{A_n}$  вспышка невозможна. По правилам пуск заслонки производится через каждые 0,5°C подъема температуры керосина. С некоторого момента начинается выделение паров керосина. Интенсивность этого процесса увеличивается с повышением температуры керосина. Поэтому, если даже допустить



совершенную продувку газового пространства во время движения заслонки, отношение  $\frac{B}{A}$  будет все время расти. При достижении этим отношением значения  $\frac{B_n}{A_n}$  произойдет вспышка. При ухудшении процесса продувки значение  $\frac{B_n}{A_n}$  достигается раньше, и этим можно объяснить более низкое показание прибора при закрытых окнах, т.-е. при нарушении процесса продувки. Опытные данные заставляют предполагать, что уменьшение площади окон до 63% от первоначальных не нарушает процесса продувки. Это нарушение происходит при дальнейшем уменьшении в интервале от 63% до 30%, при чем дальнейшее уменьшение на показания прибора не влияет. Если допустить, что из-за точности опытов в 0,1°С получилось некоторое искажение и что зависимость между размерами крайних окон и показанием закономерная, а именно при:

Площадь окна . . . . .	100%	63%	30%	0%
Температура вспышки . . .	35,8°С	35,7°С	35,5°С	35,4°С

то и тогда допуск в 93—94% дает расхождение меньше, чем 0,1°С. Допуск является достаточно строгим.

IV. Изучение влияния температуры воды в ванне. По правилам температура воды в ванне должна быть, примерно, численно в два раза больше ожидаемой температуры вспышки. Теоретически такое условие является неправильным, ибо оно создает различные условия нагрева для керосина с разными температурами вспышки. Например, температура вспышки керосина 35°С. Ванна 70°С. Начало опыта 28°С. Разность температур керосина и воды в начале опыта 42°С, в конце опыта 35°С. В среднем 38,5°С. Для керосина с температурой вспышки 45°С, ванна 90°С, начало опыта 38°С. Средняя разность температур 48,5°С. Так как количество передаваемого тепла в единицу времени пропорционально разности температур воды и керосина, то условия нагрева керосина в обоих случаях будут разные. Действительно, определяя скорость нагрева керосина мы получили:

В интервале 20—28°С:

Температура ванны . . .	55	60	65	70	75	80	90
Время нагрева на 8°С . .	8"45"	7"35"	6"30"	5"30"	4"40"	3"50"	3"30"
" " " 1°С в средн.	1"06"	57"	49"	41"	35"	29"	26"

В интервале 30—35°С:

Температура ванны . . . . .	53	63	73	83	93	97
Время нагрева на 5°С . . . .	9"12"	5"20"	3"50"	2"37"	2"10"	1"58"
" " " 1°С в средн.	1"50"	1"04"	46"	31"	26"	24"

Между тем определения температуры вспышки при разных температурах ванны дали:

I серия опытов:

Температура ванны . . . . .	53°С	73°С	93°С
Температура вспышки . . . .	36,4°С	36,4°С	36,5°С

II серия опытов:

Температура ванны . . . . .	63°C	83°C	97°C
Температура вспышки . . . . .	36,3°C	36,3°C	36,4°C

т. е. при изменении температуры ванны на 40°C разница в показаниях прибора лежала в пределах точности наблюдения.

V. Нам следует рассмотреть этот опыт в связи с исследованием влияния частоты пуска заслонки. Правила определяют пуск заслонки в моменты, отвечающие подъему температуры керосина на 0,5°C. Для выявления влияния этого фактора были произведены следующие определения:

Пуск заслонки через каждые . . . . .	0,5°C	0,25°C	0,1°C	0,0°C <sup>1)</sup>
Температура вспышки . . . . .	36,1°C	37,3°C	39,1°C	45,4°C

Здесь также подтверждается, что при более частой продувке отношение  $\frac{B}{A}$  позже достигает значения  $\frac{B_0}{A_0}$ . Таким образом интервал для пуска заслонки, хотя и является условным, но тем не менее соблюдение его со всюю строгостью необходимо при желании получить даже ориентировочные результаты. Здесь неправильное по высоте положение глаза наблюдателя, могущее вызвать изменение интервала между моментами пуска заслонки на 2—3° ( $\cong 0,1^\circ\text{C}$ ), может повести к неправильному определению температуры вспышки. Так, для керосина с температурой вспышки 36,5°C, если задержимся с пуском заслонки в момент показания термометра 36,0°C на 2—3°, то возможно, что вспышка произойдет при отчете 36,0°C. Если при следующем опыте пустить заслонку при отчете 36,5°C на 2—3° раньше, то вспышка может не произойти (даже для керосина со вспышкой 36,4°C), так как время накопления паров мало и показание прибора будет 37,0°C.

Здесь надо отметить, что обычно точность прибора Абеля-Пенского считается 0,5°C. Произведенные мною при этом исследовании свыше 800 вспышек дают право утверждать, что идентичная постановка опыта допускает точность в 0,1°C (на хорошем приборе). Из всего количества вспышек разность в 0,5°C получилась лишь в 7 определениях, т. е. менее 1%.

Возвращаясь к предыдущему опыту, мы отмечаем кажущееся несоответствие, ибо там при повышении температуры ванны, имея ускоренный процесс нагрева и связанное с этим более частое открывание заслонки по времени, мы не получили повышения показаний прибора. Поэтому остается предположить наличие какого-то другого фактора, изменяющего показание прибора в сторону понижения при повышении температуры ванны. Для выявления этого фактора были произведены следующие опыты. Температура ванны менялась в пределах от 50 до 97°C, пуск же заслонки производился через равные промежутки времени (принято было 20").

<sup>1)</sup> Заслонка открыта все время.

Данные опытов:

Температура ванны . . .	50°C	63°C	83°C	97°C
Температура вспышки . . .	37,7°C	36,8°C	36,1°C	35,5°C

Эти опыты показали, что повышение температуры ванны не изменило температуры вспышки лишь из-за того, что его влияние сложилось из двух факторов. Один из них повышает показание прибора (более частый пуск заслонки), другой—понижает показание. На втором факторе мы несколько задержимся.

Определяя температуру вспышки путем измерения температуры керосина в середине стаканчика при нагреве только его стенок и дна, мы всегда имеем несоответствие между показанием термометра и температурой керосина у стенок и дна, а именно: показания термометра всегда будут ниже. Здесь сказывается влияние теплопроводности. Чем выше температура ванны, тем быстрее протекает процесс нагрева, тем большая разность температур между центром и периферией керосина в стаканчике. Выделение паров у стенок и дна интенсивнее (выше температура)—этим и объясняется преуменьшение показаний прибора. Если равномерно нагреть керосин и выдержать его при этой температуре в течение времени, отвечающего условиям работы на приборе Абеля-Пенского, то, вероятно, определенная таким путем температура вспышки приняла бы большее численное значение. Надо полагать, что выделение паров у стенок и дна играет доминирующую роль, тогда будет понятно появление второго фактора при повышении температуры ванны.

Итак, повышение температуры ванны, ускоряя нагрев и уменьшая время накопления паров, приводит к повышению показаний прибора, но, с другой стороны, оно, создавая большую разность температур у стенок и в центре стаканчика, ведет к большему запаздыванию показаний термометра, т. е. к понижению показаний прибора.

Для опытного керосина влияние обоих факторов, суммируясь, не дало изменений в показаниях прибора.

VI. Изучение влияния величины пламени. Величина пламени устанавливается путем сличения поперечника пламени с диаметром костяного шарика. Последний равен 3,75 мм с допуском  $\pm 1,00$  мм. При наших фитилях этому поперечнику отвечает пламя высотой около 6 мм. Для выявления влияния величины пламени проведено три серии опытов:

1) величина пламени минимальная (граница—не тухнет при захлопывании заслонки)—поперечник около 1,5 мм, высота около 2,0 мм. Температура вспышки 36,5°C.

2) величина пламени нормальная—поперечник около 3,75 мм, высота около 6 мм. Температура вспышки 36,1°C.

3) величина пламени максимальная (граница с коптившим)—поперечник около 6 мм, высота около 15 мм. Температура вспышки 35,7°C.

Итак, возможное отклонение  $\pm 0,4^\circ\text{C}$ . Конечно, в условиях обычного опыта трудно настолько уклониться от нормального размера пламени, но все-таки самый допуск в  $\pm 1,0$  мм, следует считать чрезмерным, учитывая возможность сделать большую ошибку при сличении поперечников

пламени и шарика. Здесь надо отметить, что имеющиеся на контрольной мерке предельные отверстия для шарика, обычно, оба либо пропускают, либо не пропускают шарик. Даже последние германские приборы не составили в этом исключения. Необходимо уничтожить этот дефект контрольных мерок.

VII. Правила требуют аккуратного наполнения стаканчика. При переливе (на практике обычно не превышающем 1—2 мм) полагается опорожнить стаканчик, вытереть его на сухо и наполнить заново. Снятие излишков не допускается. Для определения влияния смачивания стенок выше крючка стаканчик был наполнен с переливом в 15 мм, затем излишек был снят. Показание прибора  $36,5^{\circ}\text{C}$  против нормального  $36,6^{\circ}\text{C}$ . Разница:  $-0,1^{\circ}\text{C}$ , т. е. в пределах точности опыта. Следовательно, выполнение сложной процедуры при случайном переливе не является необходимым, тем более, что перенос стаканчика с керосином для помещения в нагревательную ванну, обычно, сопровождается колебаниями уровня свыше 1—2 мм.

VIII. Правила требуют предварительного подогрева керосина и стаканчика до температуры на  $7^{\circ}$  ниже ожидаемой температуры вспышки. Обычно, сейчас приходится иметь дело с керосином, температура вспышки которого свыше  $36^{\circ}\text{C}$  (доходит и до  $50^{\circ}\text{C}$ ). При желании соблюсти этот пункт правил налив надо производить при температуре керосина и стаканчика свыше  $29^{\circ}\text{C}$ . Обычная температура в помещении лаборатории  $20^{\circ}\text{C}$ . Процесс подогрева требует дополнительной установки, наполнение стаканчика в этих условиях усложняет опыт, поэтому было важно узнать, насколько этот пункт действительно вызывается необходимостью.

Это правило гарантирует постоянное значение для расстояния от горизонта керосина до фитильной трубки в момент вспышки на одном и том же приборе, так как при нагревании стаканчика с керосином уровень последнего повышается. Влияние несоблюдения этого правила точно такое же, как и высоты налива (налив при более низкой температуре соответствовал бы переливу). Поэтому в этих опытах определения температуры вспышки не производились, а лишь изучалось повышение уровня в зависимости от нагревания керосина. Для испытуемого керосина это изменение уровня дало, в среднем, 0,03 мм на  $1^{\circ}\text{C}$ , что дает  $\beta \approx 0,0008$ . Эта цифра, весьма близкая к данным Менделеева для этого керосина ( $\beta = 0,00072$ ), позволяет считать, что влияние расширения стаканчика лежало в пределах точности опыта (измерение высоты уровня при интервале температур в  $10^{\circ}\text{C}$  производилось с точностью 0,05 мм).

Сопоставляя эти опыты с изучением влияния высоты налива (опыты II), получаем, что уклонение на  $1^{\circ}\text{C}$  при наполнении стаканчика изменяет показания прибора на  $0,012^{\circ}\text{C}$ , т. е. что уклонение на  $8^{\circ}\text{C}$  едва может быть уловлено даже при весьма точных лабораторных опытах (точность  $0,1^{\circ}\text{C}$ ).

Суммируя опытные данные и выводы из них, надо отметить, что:

1) предельные значения для глубины погружения фитильной трубки дают расхождения в  $0,63^{\circ}\text{C}$ ,

2) предельные значения для высоты крючка дают расхождения в  $0,40^{\circ}\text{C}$ .



3) уменьшение площадей крайних окон в пределах допуска не дает уловимого изменения показаний прибора,

4) температура ванны для испытываемого керосина не влияла на показание прибора,

5) момент пуска заслонки должен определяться с максимальной точностью,

6) величина пламени имеет существенное значение, и поэтому допуск (в  $\pm 1,0$  мм) для диаметра шарика следовало бы уменьшить,

7) снятие излишков при случайном переливе может быть допущено и

8) обязательство производить налив при температуре на 7 градусов ниже ожидаемой температуры вспышки уточняет опыт, но для практических целей вряд ли должно строго соблюдаться.

В заключении нам остается лишь привести некоторые соображения об оценке и способах поверки приборов Абеля-Пенского вообще и основной копии эталона в частности.

К прибору должны предъявляться два основных требования—постоянство и правильность показаний. Первое зависит лишь от положения шпипов двулучика и наблюдателя, второе—от конструктивных размеров прибора. Поэтому в правилах поверки следует ввести обязательство измерения величины погружения фитильной трубки при двух последовательных положениях двулучика. Наличие большого расхождения должно вести к браковке прибора. Поясним это примером. Хотя мы и измеряем температуру вспышки с точностью до  $0,5^{\circ}\text{C}$ , но численное значение этой температуры может иметь любой десятичный знак. Предположим, что наш прибор дает для разных положений двулучика разность погружений фитильной трубки в  $0,3$  мм ( $\alpha_1 = 0,75$ ,  $\alpha_2 = 1,05$ ). Это соответствует (см. опыты I) разности показаний в  $0,2^{\circ}\text{C}$ . Допустим, что истинная температура вспышки керосина при нормальном шипе на этом приборе будет  $36,4^{\circ}\text{C}$  или  $36,5^{\circ}\text{C}$ . Тогда в зависимости от того, какой из шпипов будет приводить в действие заслонку при температуре керосина  $36,5^{\circ}\text{C}$ , мы можем получить показание  $36,5^{\circ}\text{C}$  или  $37,0^{\circ}\text{C}$ . Для керосива со вспышкой  $36,1^{\circ}\text{C}$ ,  $36,2^{\circ}\text{C}$  или  $36,3^{\circ}\text{C}$  мы на этом же приборе будем все время получать показание  $36,5^{\circ}\text{C}$  (прибор, имевший  $\alpha_1 = 1,2$  и  $\alpha_2 = 0,6$  давал расхождение в показаниях на  $1,0^{\circ}\text{C}$  и по правилам был забракован. На ином керосине он мог бы дать расхождение в  $0,5^{\circ}\text{C}$  и быть принятым).

Итак, оценка постоянства показаний прибора зависит не только от прибора и наблюдения, а также и от керосина, на котором производится поверка. В практике лаборатории были случаи, когда прибор, первоначально дававший непостоянство показаний, в дальнейшем при поверке на другом керосине давал полное совпадение во всех наблюдениях. Поэтому нам кажется правильнее производить поверку на разных керосинах для каждой из трех серий наблюдений.

В особенности осторожно надо подходить к поверке основной копии эталона, иначе можно впасть в грубую ошибку. В лаборатории контрольных приборов имеется два образцовых прибора—один принят за эталон, другой—является его основной копией. Оба прибора отличаются исключительным постоянством показаний. Все поверки поступающих в лаборато-

рию приборов, в целях сбережения эталона, ведется при помощи копии. Описываемое исследование также проводилось на копии. Копия время от времени сличается с эталоном. Поправка к показаниям приборов пересчитывается с копии на эталон. Из-за наличия пересчета ошибки опытов суммируются, и при обычном методе поверки можно получить большую ошибку. Допустим, что копия показывает на  $0,2^{\circ}\text{C}$  ниже, чем эталон. Так как оба прибора отличаются постоянством показаний, то при их сличении возможно полное совпадение показаний или постоянное расхождение на  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Первое будет для керосинов с десятичным знаком 3, 4, 5, 8, 9, 0 для температуры вспышки по эталону. Второе для десятичных знаков 1, 2, 6 и 7. Произведем сличение копии с эталоном во втором случае, мы имеем поправку  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Допустим, что в поверку по копии поступает прибор, отличающийся также постоянством показаний, но дающий показания на  $0,2^{\circ}\text{C}$  ниже. Предположим, что поверка производится на керосине с температурой вспышки  $36,1^{\circ}\text{C}$  по копии. Тогда копия покажет  $36,5^{\circ}\text{C}$ , а поверяемый прибор  $36,0^{\circ}\text{C}$ . Имеем поправку к копии в  $0,5^{\circ}\text{C}$ , а в пересчете на эталон  $1,0^{\circ}\text{C}$ . Прибор должен быть забракован, хотя фактически, при непосредственном сличении с эталоном, он не мог дать ни в коем случае расхождения более  $0,5^{\circ}\text{C}$ .

С другой стороны, если благодаря случайности выбора керосина, показания копии и эталона совпали, то все приборы, дающие фактически показания на  $0,5^{\circ}\text{C}$  ниже, чем копия, выдержат поверку, несмотря на фактическое расхождение с эталоном в  $0,7^{\circ}\text{C}$ .

При сличении копии с эталоном в лаборатории долгое время получался разнобой. Один день имели полное совпадение показаний. Поверяя через неделю, получили расхождение в  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Спустя несколько дней опять получили полное совпадение. После ряда таких расхождений произвели поверку с точностью  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Тогда установилась определенная разность показаний в  $0,2^{\circ}\text{C}$ .

После всех опытов копию пришлось „настраивать“, т. е. довести ее показания до совпадения с показаниями эталона. Это удалось осуществить путем изменения глубины погружения фитильной трубки. Изменяя глубину погружения, в большинстве случаев удается спасти прибор от браковки по показаниям, а в отношении копии—приводить ее к полному совпадению с эталоном.

На основании изложенного наиболее целесообразным методом поверки копии надо считать поверку с точностью до  $0,1^{\circ}\text{C}$  с дальнейшей регулировкой копии. Если для регулировки требуется уменьшить погружение фитильной трубки, то следует подпилить зубец на заслонке или подпилить тело зажигательной лампочки. Для увеличения погружения можно на зажигательной лампочке против зубца заслонки ввинтить штифтик и подпиливанием его при регулировке довести до желаемой величины.

## ПРАВИЛА И НОРМЫ ЗАЩИТЫ ОТ ВРЕДНОГО ДЕЙСТВИЯ РЕНТГЕНОВЫХ ЛУЧЕЙ.

С. Н. УСАТЫН.

Научное исследование и разработка вопроса о защите от вредного действия рентгеновых лучей особенно усилилась с 1921 года, когда общественное мнение было возмущено смертью многих работников с рентгеновыми лучами и радием от анемии.

За это время во многих странах были изданы правила и нормы, в основу которых легли многочисленные исследования физиков и рентгенологов (свыше 120 работ). Первый международный съезд в Лондоне (1925 г.) занимался этим вопросом, а второй — в Стокгольме (июль 1928 г.) издал правила и нормы по защите от вредного действия рентгеновых лучей. Естественно, что эти международные нормы защиты, как объединяющие существовавшие до них, дают наименьшие пределы и общие указания. Детальная разработка норм сообразно с местными условиями и проведение норм в жизнь является делом комитетов или самостоятельных, или при обществах рентгенологов или, как у нас, при Наркомтруде. Правила и нормы защиты от вредного действия рентгеновых лучей замечательны тем, что они построены не только на физической, но и на биологической основе.

Физической основой служат законы ослабления рентгенового пучка лучей при прохождении его через различные твердые, жидкие и газообразные тела. Биологической основой является тот факт, что только поглощенная энергия рентгеновых лучей вызывает биологический эффект. Последнее связывает вторую основу с первой.

Ослабление пучка рентгеновых лучей через любую материальную среду происходит вследствие поглощения средой и вследствие рассеяния. Под поглощением понимают трансформацию части энергии пучка в энергию вторичного излучения — собственное или характеристическое излучение и эмиссии электронов, — конечным процессом которой будет тепловой эффект. Кроме того от пучка отнимается часть энергии вследствие рассеяния, т. е. изменения первоначального направления лучей; при этом качество лучей не изменяется, если не принимать во внимание так называемого эффекта

Комптона. Таким образом рассеянные лучи производят тот же эффект, что и породившие их лучи.

Если интенсивность падающего пучка на поверхность тела обозначим через  $I_0$  и выходящего из тела — через  $I$ , то по закону ослабления:

$$I = I_0 e^{-\mu d},$$

где  $\mu$  — линейный коэффициент ослабления,  $d$  — толщина в сантиметрах поглощающего тела и  $e$  — основание натуральных логарифмов (рис. 1).

Этот закон справедлив для всякого рентгеновского однородного пучка лучей, т. е. для пучка одной и той же длины волны  $\lambda$ . Коэффициент ослабления  $\mu$  состоит из коэффициента истинного поглощения  $\rho$  и коэффициента рассеяния  $\tau$ , следовательно:

$$\mu = \rho + \tau \text{ и } I = I_0 e^{-\rho d} \cdot e^{-\tau d}.$$

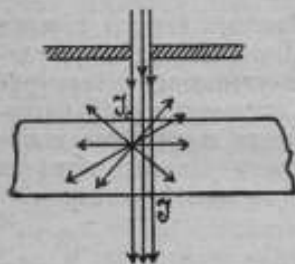


Рис. 1.

Поглощенная же телом энергия  $I_1$  будет:

$$I_1 = I_0 - I_0 e^{-\bar{\mu}d} = I_0(1 - e^{-\bar{\mu}d}) \cong I_0 \cdot \bar{\mu} \cdot d,$$

если

$$\bar{\mu} \cdot d < 1.$$

Исследования показали (Richtmeyer), что так называемый массовый коэффициент  $\frac{\mu}{\rho}$ , т. е.  $\bar{\mu}$  поделенный на плотность  $\rho$  поглощающего вещества, зависит от атомного номера  $Z$  элемента и длины волны и может быть выражен:

$$\frac{\mu}{\rho} = kZ^4 \cdot \lambda^3,$$

а массовый коэффициент рассеяния:

$$\frac{\sigma}{\rho} = k_1 \frac{Z}{a},$$

где  $a$  — атомный вес элемента и  $k, k_1$  — постоянные величины.

Таким образом коэффициент ослабления  $\mu = A\lambda^3 + B$  будет известен, если известны для данного вещества  $\mu$  и  $\sigma$  и длина волны  $\lambda$  пучка.

Приведенные законы ослабления однородного пучка рентгеновых лучей ясно показывают, что наибольшее ослабление, а следовательно, и поглощение, вызывают материалы с большим атомным номером ( $Z^4$  с одной стороны, и с другой, чем меньше длина волны ( $\lambda^3$ ), тем жестче пучок лучей, тем ослабление меньше. Кроме того, необходимо иметь в виду, что максимум интенсивности ( $I$ ) в спектре общего неомогенного пучка рентгеновых лучей, выходящего из рентгеновой трубки, лежит в области коротких волн, и напряженне в киловольтах у трубки связано с длиной волны в ангстремах ( $A^\circ$ ) простым соотношением:

$$kV = \frac{\text{const}}{\lambda}.$$

Пределная наименьшая длина волны:

$$\lambda_{\min} = \frac{12,35}{kV} (A^\circ).$$

На основании изучения коэффициента  $\mu$  принят стандартным защитным материалом от вредного действия рентгеновых лучей свинец, имеющий атомный номер  $Z = 82$ , атомный вес  $a = 207,2$  и собственное (характеристическое) излучение при длине лучей  $\lambda \cong 0,13 A^\circ$ , что соответствует напряжению у трубки 95 киловольт. Коэффициент поглощения свинца при напряжении у трубки около 100 kV исчисляется скачок и поэтому свинец при этих условиях является более прозрачным, чем для лучей при других напряжениях у трубки.

Коэффициенты ослабления для свинца при различных киловольтах у трубки и различных толщинах  $d$  приведены в таблице I. Эти коэффициенты получены в рентгенометрической лаборатории Главной Палаты мер и весов и немалым отличаются от тех же коэффициентов, даваемых Кауе и Оуэн (Proc. Phys. Soc. Lond. 1923). Тщательная обработка опытного материала, применение их и проверка в различных случаях заставляет вас пользоваться ими, а не данными Кауе.

Все остальные материалы по своей прозрачности для рентгеновых лучей сравниваются со свинцом и устанавливается толщина в миллиметрах материала, эквивалентная по своей прозрачности прозрачности свинца толщиной в 1 мм, так называемый свинцовый эквивалент.

В таблице II приведены свинцовые эквиваленты различных тел, отчасти определенные в нашей лаборатории <sup>1)</sup>, отчасти взятые из литературы.

<sup>1)</sup> В работах принимали участие сотрудники лаборатории И. В. Пороиков и К. К. Аглицев.



Таблица I.  
Прозрачность свинца для рентгеновых лучей нефилтрованных.

Толщина свинца в мм	70 kV <sub>max</sub> (Кауе)		80 kV <sub>max</sub> (Лаборат.)		100 kV <sub>max</sub> (Кауе) (Лаборат.)		150 kV <sub>max</sub> (Лаборат.)		200 kV <sub>max</sub> (Кауе) (Лаборат.)	
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,1	—	0,0268	—	0,0662	0,1601	—	0,2209	—	—	—
0,2	0,0182	—	0,0502	0,0237	0,0790	0,125	0,123	—	—	—
0,4	0,00325	0,00391	0,0175	1,0112	0,0322	0,0533	0,0580	—	—	—
0,6	0,000805	—	0,00741	—	0,0154	0,0264	0,0302	—	—	—
0,8	0,000257	—	0,00343	—	0,0080	0,0141	0,0151	—	—	—
1,0	0,0000944	0,000098	0,00170	0,00092	0,0046	0,00741	0,00840	—	—	—
1,2	0,0000391	—	0,000341	—	—	0,00470	0,00520	—	—	—
1,4	0,0000177	—	0,000491	—	—	0,00286	—	—	—	—
1,6	0,00000851	—	0,000252	—	—	0,00179	0,00192	—	—	—
1,8	0,00000430	—	0,000169	—	—	0,00114	—	—	—	—
2,0	0,00000227	—	0,000103	—	—	0,000734	0,000821	—	—	—
2,5	—	—	0,0000336	—	—	0,000255	—	—	—	—
3,0	—	—	0,0000119	—	—	0,0000957	0,000120	—	—	—
3,5	—	—	—	—	—	0,0000401	—	—	—	—
4,0	—	—	—	—	—	0,0000196	—	—	—	—
4,5	—	—	—	—	—	0,0000108	—	—	—	—
5,0	—	—	—	—	—	0,00000631	—	—	—	—
5,5	—	—	—	—	—	0,00000394	—	—	—	—

Как видно из таблицы I, уменьшение интенсивности до  $1/10000$  происходит при толщине свинца около 2 мм при 100 kV и толщине 3 мм при 200 kV.

Таблица II.

Материалы	Плотность,	Свинц. эквив. элемент в мм	Эквивалентная толщина материалов в мм				
			50 kV	80 kV	100 kV	150 kV	200 kV
Алюминий . . . . .	2,7	1	(96)	130	83(60)	95(65)	110(70)
Медь . . . . .	8,4	1	(6,5)	4,5	4(4,5)	5,0(6,0)	7,0(6,5)
Сталь . . . . .	7,8	1	11,5	—	6,5	9,5	11,5
Цинк . . . . .	8,4	1	—	5(4,5)	5,5(4,8)	6,1(6,5)	6,0(6,9)
Свинцовое стекло . . . . .	4,6	1	—	—	—	—	—
Свинцовая резина . . . . .	5,8—3,3	1	2—5	2—5	2—5	2—5	2—5
Бариевый цемент . . . . .	3,5	1	10	—	4	7,5	9
2 части BaSO <sub>4</sub> . . . . .							
2 " мелкого BaSO <sub>4</sub> . . . . .							
1 " портл. цемента . . . . .							
Состав:							
4 части камня . . . . .	2,1	1	100	—	70	75	80
2 " песка . . . . .							
1 " цемента . . . . .							
4 части клинкера . . . . .	1,5	1	135	—	100	105	—
1 часть цемента . . . . .							
4 части гранита . . . . .							
1 часть цемента . . . . .	2,1	1	110	—	70	80	—

Чтобы защитить работающего от вредного действия рентгеновых лучей, необходимо поглотить эти лучи экранирующим материалом настолько, чтобы прошедшая часть их сквозь экранирующий материал была биологически безвредна. Какова эта наибольшая, так называемая, толерантная доза и каково ее соотношение к биологическому стандарту — арифметической дозе (HED)? Здесь все комиссии по выработке норм защиты сталкиваются с большими затруднениями. Источником этих затруднений является, во-первых, то, что арифметическая доза не совсем строго определенная величина, во-вторых, до сих пор не вполне раскрыто кумулятивное биологическое действие лучей, а также соотношение в действии целой дозы и такой же дозы, но подразделенной с промежутками времени между сеансами, и наконец, все еще стоит перед нами неразрешенной проблема влияния дозы воли на биологический эффект.

Если для измерения интенсивности рентгеновых лучей и флюкесной, а не биологической, дозы (R) мы имеем после Стокгольмского съезда (1928 г.) вполне определенную воспроизводимую величину и стандартизованный метод ее определения и передачи измерительным приборам, то в вопросе толерантной дозы многое еще неизвестно. Это обстоятельство заставляет устанавливать с большой осторожностью как толщины защитных материалов или эквивалента свинца, так, в особенности, условия и продолжительность рабочего дня с рентгеновыми лучами.

Для оценки толерантной дозы, получаемой работающим, приведу следующие данные, полученные различными исследователями из статистического разбора характерных случаев:

	0,001 арифметической дозы
Mutscheller (Am. Journ. „Roent“, 1925 г.) . . . . .	3 дни
Sievert (Acta Radiol, 1925 г.) . . . . .	3 „
Solomon (Précis de Radiothérapie, 1926 г.) . . . . .	0,3 „
Dutch Board of Health (1926 г.) . . . . .	15 „
Barclay and Cox (Amer. Journ. of Roent. 1928 г.) . . . . .	3,5 „

G. Кауе предлагает принять наибольшую толерантную дозу, как среднюю из приведенных данных, а именно: 0,001 арифметической дозы в 5 дней. Однако, при соблюдении крайней осторожности, в целях защиты работающего, необходимо остановиться на 0,001 арифметической дозы в 15 дней, особенно принимая во внимание, что кроме вредного действия лучей на работающего во время работы присоединяются и другие вредные влияния, как влияние сильно озонированного воздуха и окислов азота воздуха, вызванных высоким напряжением, а также сильных электростатических полей.

Таблица III.

	Снимки	Просвечивание	Глобальная терапия
Максимальное напряжение в киловольтгах . . . . .	100	100	200
Ток в миллиамперах . . . . .	25	4	4
Расстояние работ. от антикатод. трубки в сантиметрах . . . . .	152	61	305
Время экспозиции в минутах за день . . . . .	5	60	480
Число доз за 5 дней . . . . .	1	12	4
Число доз за 15 дней . . . . .	3	36	12
Толерантная доза за 5 дней . . . . .	1:1000	12:12000	4:4000
Толерантная доза за 15 дней . . . . .	3:3000	36:36000	12:12000

Если воспользоваться приближенно формулой Mutscheller'a, определяющей число и эритемных доз:

$$n = \frac{\text{миллиамперы} \times \text{минуты}}{25 (\text{фокусное расстояние в футах})^2} = \frac{37,2 \text{ миллиампера} \times \text{минуты}}{(\text{фокусн. расст. в сантиметрах})^2}$$

в прямом направлении лучей неэкранированной трубки, то получим числа эритемных доз на 5 дней и 15 дней, приведенные в таблице III.

Из таблицы видно, что в случае принятия максимальной дозой (0,001 HED) в 5 дней, необходимо работающего защищать экраном, ослабляющим пучок лучей при снимках до 0,001, что соответствует толщине 1,2 мм свинца, при просвечивании — до  $\frac{1}{12\,000}$ , что соответствует толщине 2,1 мм свинца, и при глубокой терапии — до  $\frac{1}{4\,000}$ , что соответствует толщине 2,5 мм свинца. При той же дозой в 15 дней, соответствующие ослабления будут при снимках до  $\frac{1}{3\,000}$ , что дает толщину свинца 1,6 мм, при просвечивании — до  $\frac{1}{36\,000}$ , что дает толщину 2,5 мм свинца, и при глубокой терапии — до  $\frac{1}{12\,000}$ , что требует толщину свинца в 3 мм. Принимая во внимание рассеяния, свинцовые эквиваленты необходимо помножить в первом случае до 1,5 мм, 2,5 мм и 3 мм, а во втором случае — до 2 мм, 3 мм и 3,5—4 мм.

Переходя к рассмотрению норм и правил с точки зрения практического осуществления и применения защиты, необходимо иметь в виду, что в работе с рентгеновыми лучами могут принимать участие лица, особенно в технических предприятиях, которые не обладают достаточным опытом и знанием о рентгеновых лучах. Поэтому нормы и правила защиты от вредного действия рентгеновых лучей должны быть основаны на принципе абсолютной надежности и безопасности.

С этой точки зрения, кроме защиты от лучей, необходимо устранить всякую опасность от высокого напряжения; эта опасность в современных рентгеновских установках, в которых пользуются конденсаторами большой емкости для получения постоянного тока высокого напряжения, особенно велика, благодаря значительной мощности остаточных зарядов в конденсаторах.

Устранение ее или, правильнее, доведение до минимума достигается установкой высоковольтной аппаратуры или в отдельном помещении, или в отдельном чехле с необходимым заземлением соответствующих частей, достаточным и свободным помещением, в котором установлены трубки и пользуются лучами от них, проводкой высоковольтных некоронирующих проводов на высоте не меньшей 2 метров и, наконец, покрытием полов изолирующим материалом, например, линолеумом или резиной. Доступные металлические части, как-то штативы и т. п., должны быть в этом помещении также заземлены.

С точки зрения защиты от лучей, самым простым и самым экономным средством будет поместить рентгеновскую трубку в защитный чехол настолько малых размеров, насколько это позволяет трубка. В последнее время это достигнуто весьма удачно, как показали исследования, в защитных трубках Philips-Meller'a и трубках Siemens с бериллиевым окном. В С.-А.С.Ш. трубку помещают в шар из свинцового стекла.

В настоящее время все более распространяется идея помещать всю трубку вместе с подводкой к ней проводников в цилиндрическую трубу, которая при помощи особого штатива может перемещаться. Так как эта труба соединена с землей, то достигается полная безопасность как от высокого напряжения, так и от боковых рентгеновых лучей, но такая защита очень дорога и пока безуспешно работает только до 120 kV.

Следующие величины для защитного материала на рентгеновой трубке, выраженные в эквивалентных толщинах свинца, приняты международными правилами.

Максимальное напряжение на трубку	Минимальная толщина свинца в мм
не более 75	1
" " 100	1,5
" " 125	2
" " 150	2,5
" " 175	3
" " 200	4
" " 225	5

К опасностям для обслуживающего и пользующегося рентгеновыми лучами персонала от самих лучей присоединяются еще опасности от высокого напряжения и от вредных газов, если только не применять соответственных предосторожностей и предохранительных мер. Поэтому, естественно, что почти все страны были озабочены мерами защиты и имеют свои правила и нормы защиты как персонала, так и пациентов.

Так, у нас в СССР Народный Комиссариат Труда издал 9 сентября 1925 г. детальные правила защиты и безопасности при рентгенологических работах. В Италии с 18 июня 1925 г. имеют законную силу точные правила защиты для пациентов и персонала, а также правила защиты соседних помещений от действия лучей. В Германии уже в 1913 г. была издана инструкция, а в 1926 г. вышла правила и нормы, распространяемые на всю Германию. Те же правила разработаны в Дании, Швеции, Норвегии, Франции и С.-А.С.Ш. в последние годы. Англия выработала проект международных правил, который был принят без изменений Стокгольмским Международным Конгрессом.

В отчете Национальной Физической Лаборатории за июнь 1925 г. опубликованы правила, разработанные Английским радиологическим обществом.

В таблице IV сопоставлены международные правила с правилами изданными у нас в СССР, Англии, Германии и Швеции, при чем, так как английские правила существенно не отличаются от международных, то помещены только международные. Сравнивая эти правила, необходимо прежде всего отметить, что наши правила в защите работающего персонала не только в лечебницах, но и на производстве, более осторожны и действительно защищают, как того требует предельная допустимая доза ( $\frac{1}{1000}$  HED и 15 дней), не считаясь со стоимостью самой защиты, здесь нет того компромисса, который проглядывает в правилах других стран. Далее наиболее детально разработаны германские правила и являются более жесткими, чем международные.

Из всего вышесказанного следует, что правила и нормы защиты от вредного действия лучей базируются на знании свинцового эквивалента и допустимой дозы, если оставлять в стороне средства защиты от высокого напряжения и действия вредных газов, как хорошо изученных и легко контролируемых. Установление свинцового эквивалента и допустимой дозы связано с эффектом, производимым вторичными рассеянными лучами. Последние же не поддаются расчету. Поэтому проверка надежности защиты от действия рентгеновых лучей может быть осуществлена только экспериментально. Необходимо заметить, что исследование поглощения свинцом, толщиной больше 1 мм, сопряжено с большими затруднениями. То же относится и к измерению таких малых доз, как допустимая. Если в лабораторных эти измерения еще возможно производить, то проверка надежности защиты на месте рентгеновской установки является вопросом, требующим обсуждения и разработки. Обычно применяемый фотографический метод при толщинах свинца в несколько миллиметров, или метод флуоресцирующего экрана становятся не количественными, а качественными методами. Рентгенометрическая лаборатория Главной Палаты мер и весов полагает, что наиболее благоприятным разрешением методики проверки надежности защиты будет, если использовать понометрический метод, уже давший вполне надежные результаты при определении свинцового эквивалента.



## Таблица IV.

	Международные правила и нормы (Англия)	СССР	Германия	Швейцария
<b>Общие положения.</b> Помещение.				
1. Общие указания.	Все помещения должны быть доступны свету (естественному и солнечному свету (окна)). Хорошо освещены (4). Не ниже первого этажа (3).	Сухое, просторное, светлое и теплое (1). (Под деревянный или линолеум).	Сухое, просторное, достаточное количество свежего воздуха и дневного света (§ 1).	Просторное, хорошо освещенное, сухое (1). Не ниже уровня почвы (1).
2. Размеры . . . . .	Потолок не ниже 3,5 м. Миним. площадь светлой комнаты 25 кв. м. (7) Темная комн. 10 кв. м.	Потолок не ниже 3,5 м. (3). Кубатура не менее 90 куб. м, на 1 чел. не ниже 30 куб. м (4). Отношение поверхности окон и пола не менее 1:8 (5). (Теплое, см. 1).	Потолок не ниже 3,25 м (2).	Потолок не ниже 3,25 м (2).
3. Температура . . . . .	Около 18° С (8).			(Хорошо отапливается, см. 1).
4. Вентиляция . . . . .	Вентиляция должна обеспечивать возможность обмена воздуха 10 раз в час. Места входа и выхода воздуха должны быть расположены так, чтобы обмен совершался по всему объему помещения.	Вентиляция должна обеспечивать возможность обмена воздуха 2 раза в час (6).	Для удаления загрязненных газов должна быть достаточная вентиляция; особенно внимание должно быть уделено механическим вытяжным устройствам. Следует избегать острых краев в цели воздухопровода (§§ 2, 3). Вентилятор должен располагаться около пола (§23).	Во всех комнатах должна быть хорошая вентиляция; необходим вытяжной вентилятор (4). Защитные листы должны быть закрыты для предотвращения отравления свинцом (5).
5. Отделка комнат.	Отделка должна быть по возможности светлых тонов (6).			
6. Помещение для генераторов и трансформаторов.	Электромагнитная индукция и трансформатора по возможности должны исключаться в отдельном от жилых помещениях.	Устойчива и выше 150 м должна иметь три помещения: 1) генераторы, 2) деловые и 3) токарные.	Защитные листы должны быть окрашены или обшиты деревом для предохранения от отравления свинцом (§ 23).	Генераторы и трансформаторы должны находиться в отдельной комнате с хорошей вентиляцией (3).
<b>Рабочее время.</b>				
7. Продолжительность рабочего времени.	В день не более 7 час. В неделю не более 5 рабочих дней. Отдых на открытом воздухе. Неделя 35 часов.	В день 4 часа (15).  Неделя 24 часа (15).  Шесть недель в два приема (16). Отпуск по беременности 8 недель до и 8 недель после родов (17).	В день 7 часов. Дополнительно рекомендуется предоставлять 1 или 2 свободных недели.  Неделя 35—40 час.  1 месяц.	В день 8 часов (два свободных от работы часа в день).  Неделя 36 или 48 час.  Шесть недель — (в два приема) два месяца.
8. Продолжительность отпуска в году.	Не менее 1 месяца в году.			Два раза в год (5).
9. Медицинский осмотр работающих.		Два раза в год (19).	1 медицинский осмотр в 1 год (18) и 1 медицинский осмотр в год.	
10. . . . .				
<b>Защита от действия Рентгеновских лучей.</b>	Все работники рентгеновских отделений должны быть освобождены от всех других работ.  Лица, работающие с лучами Рентгена, не должны без надобности подвергаться непосредственному действию лучей (10).	См. §§ 7, 8 Правила пользования рентгеновской аппаратурой. На защитных материалах должен быть обозначен эквивалент померенный при 180 кв. при входном поле в 1000 см <sup>2</sup> и расстоянии от измерительного аппарата до защитного материала не менее 50 см. Защитные материалы средних атомных номеров применяются также при напряженных, соответствующих краев полем поглощения, т. е. приблизительно при 60 кв. (§ 4).	Под свинцовым эквивалентом подразумевается слой свинца или же иной защиты, практически эквивалентной в отношении поглощения лучей указанной толщины свинца.  См. §§ 7, 8 Правила пользования рентгеновской аппаратурой. На защитных материалах должен быть обозначен эквивалент померенный при 180 кв. при входном поле в 1000 см <sup>2</sup> и расстоянии от измерительного аппарата до защитного материала не менее 50 см. Защитные материалы средних атомных номеров применяются также при напряженных, соответствующих краев полем поглощения, т. е. приблизительно при 60 кв. (§ 4).	

Защита от действия Рентгеновских лучей	Международные правила и нормы (Англия)	СССР	Германия	Швеция
Общие положения.	<p>Должны быть приняты меры для устранения излучения метал. фильтров (21). Все просветляющие должны вестись возможно близко, с применением возможно малых интенсивностей и отверстий диафрагмы (16).</p>		<p>Необходимо защищаться не только от первичных, но и от вознивших вторичных лучей (§ 6). При луске трубок нужно плотно закрывать отверстие диафрагмы. Все просветляющие должны вестись при возможно малой интенсивности лучей, диафрагме и промежуток времени. Следует руководствоваться таблицей максимального допустимого времени.</p>	<p>Должно иметь какое-либо приспособление на подвижные вращать трубку раньше чем фильтр поместен на место (2). При просветлении работа должна вестись с минимальным количеством лучей, а при снимках трубка находится в защитной мере в продолжение того времени, пока ток проходит через рентгеновскую трубку.</p>
Работающий должен находиться в тени антикатады, на экране, находящемся на обычном месте работающего, не должно замечаться никаких признаков (11).			<p>Таблица. Объем в куб. см Легкие 70 0,5 0,26 45 м Желуха 90 0,5 0,47 25 - Желуха 70 1,0 0,20 59 - Желуха 91 3,0 0,19 62 - Фокусное расстояние—объект: 35 с.м. ток в трубке: 5 м.А.</p> <p>Действие защитных приспособлений должно время от времени проверяться экраном; места, где замечается свечение экрана, являются опасными для продолжительного пребывания.</p>	

Очки в защитных кожухах и стенах должны иметь слюны, эквивалент равный эквиваленту стей (20).			<p>Рекомендуется поручать испытание защитных приспособлений специалистам консультантам (Правила пользования §§ 1, 3, 4, 6).</p>	<p>Очки должны иметь тот же эквивалент, что и окружающая стена (5).</p>															
<p>Чехлы для трубок</p> <p>Рентгеновская трубка должна быть по возможности полностью окружена защитным материалом, обладающим достаточным слоем эквивалентом (12).</p> <table border="1" data-bbox="1601 1164 1897 1344"> <tr> <td>Напряжение в кВ</td> <td>75</td> <td>100</td> <td>125</td> <td>150</td> <td>175</td> <td>200</td> <td>225</td> </tr> <tr> <td>Эквивалент в мм свинца</td> <td>1</td> <td>1,5</td> <td>2</td> <td>2,5</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> </table>	Напряжение в кВ	75	100	125	150	175	200	225	Эквивалент в мм свинца	1	1,5	2	2,5	3	4	5	<p>Рентгеновские трубки со всех сторон закрыты, эквивалент 4 м.м.</p>	<p>Каждая трубка должна быть заключена в защитную оболочку, которая представляет лучшее поглощение помимо диафрагмы. Защитный чехол должен быть так устроен, чтобы лучи могли выходить только через диафрагму лишь через камеру и анодную шейку. 1.—Если в диаметре трубок антикатады слабее предохранителем, то достаточно охватить чехлом лишь обращенную к большему полюсу трубки. Эквивалент свинца до: кВ 75 130 160 220 ммсв20 м.м 4,5 2,0 3,0 4,5 6,0 (Если герметиз. трубка имеет чехол недостаточного действия, то эквивалент не должен быть ниже 2 м.м.) (§§ 8, 17, 18).</p>	<p>Рентгеновская трубка должна иметь защитное покрытие.  Эквивалент должен быть при диаметре не менее 1,5 м.м, передняя стенка 2,0 м.м, при герметизации не менее 3,0 м.м. Если две трубки работают одновременно, то нужно принять меры, чтобы воспрепятствовать попаданию лучей от одной трубки на другую (3).</p>
Напряжение в кВ	75	100	125	150	175	200	225												
Эквивалент в мм свинца	1	1,5	2	2,5	3	4	5												
Защита от излучения кенотронов.			<p>Кенотроны снабжаются защитным покрытием: до 130 кВ выше 130 кВ 0,1 м.м 0,2 м.м (§§ 14, 21).</p>																

Международные правила и нормы (Англия)	СССР	Германия	Швеция
Соседние помещения.		Для защиты соседних помещений применяется защитная обкладка стен, пола и потолка. Защитное действие: до 130 кв. до 165 кв до 220 м.м 2,0 3,0 4,5 кирпич м.м 250 500 бетон м.м 150 250 (Если труба в чехле, то 1 м.м до 130 кв. Если труба в чехле неполного действия, то 2 м.м). (§§ 15, 22). Защитная обкладка стен должна углубляться в пол и потолок не менее, чем на 100 м.м, или же в ширину от стены не менее, чем до 300 м.м. Двери должны так пахать, на дверное отверстие сбоку и сверху, чтобы лучи не могли проникнуть в защищаемое помещение через щели. Гвозди, винты и швы должны быть покрыты защитным веществом (§§ 24, 25, 26). При просвечивании нужно пользоваться фальтром 0,5 м.м. А. Не вполне закрытая чехлом рентгеновская трубка должна располагаться таким образом, чтобы проходящая ось ее была продольной осью большого, чтобы не подвергать его расщепленным лучам.	Стены должны содержать защитный материал с следующими эквивалентами: двухслойная 1,5 м.м терраша 3,0 .  Вторичные лучи от пола и от потолка устраняются тем, что защитный материал входит в их толщину не менее чем на 5 м.м. Все стыки должны быть хорошо закрыты.
Защита больного.			Фальстр . . . 0,5 м.м. А.
Диагностика.			Диафрагма должна быть сделана закрыта фальстром, предписанным для данного рода лечения. (Кроме того должно иметь приспособление, не позволяющее пускать трубку до помещения фальстра на место).
Терраша.			Фальстр . . . 0,5 м.м. А.

Защитный экран и вспомогательного персонала.	Эквивалент стекла, покрывающ. флуор. экран.	Для ограждения от вторичного излучения трубки, большого в т. л. от нижнего края экрана и с боков должна быть защитный щиток. Эквивалент: вниз от экрана 1 м.м. сбоку * * * $\frac{2}{3}$ . Если щиток состоит из двух частей, то они должны перекрывать друг друга. Для защиты при просвечивании легкого больного должны применяться аналогичные приспособления. (§ 12).	Между большим и рабочим должен быть помещен защитный экран с эквивалентом 2 м.м. Если того экрана нет, рабочий должен быть защищен фальтром (4). Рассеянные лучи должны быть задержаны упомянутым экраном; при вертикальном просвечивании рекомендуется занавес от нижнего края экрана; при трюхо-кол. просвечивании какая-либо защита над краем кунстка (5).
Эквивалент стекла, покрывающ. флуор. экран.	Панель 30 × 40 см <sup>2</sup> . Свинц. эквив. 1,0 м.м.	1,8 м.м. . . . (§ 10)	... 1,5 м.м (3).
Защитный экран у штатива (для хранения от рассеяных лучей).	Защитн. ширина высот. 1 м. край свинц. 3 м.м. перс. высота 2 м ширина 1,5 м. свинц. эквив. 4 м.м. окно свинц. стекла 20 м.м.		
Перчатки, головной убор, фартук и очки.	Перчатки должны иметь свинцовый эквивал. $\frac{1}{2}$ м.м. Фартук— $\frac{1}{2}$ м.м (22).	Эквивалент: перчатки 1 м.м фартук $\frac{2}{3}$ м.м (§ 11).	Перчатки 0,5 м.м. Фартук 1,0 м. (4, 6).



	Международные правила и нормы (Англии)	СССР	Германия	Швейцария
Перекатка, головной убор, фартук и очки.		(Не более 5 сезонов). Если в диаметре кабинеты производятся герметические скансы, то необходимо кабинеты: 4 1/2 кв. м. полная высота 2 1/2 м, свинцовая высота 20 м.м.	Следует иметь в виду, что защитные перчатки и фартук не дают надежной защиты. Кроме того в них образуются трещины и их необходимо проверять фд. экраном.	Попа через трубку происходит тогда, при рентгенографии нужно находиться в защитной камере — стенки 2 м.м. Если привады моря к защите от вторичного излучения стен и потолка, не нужно защищать сверху.
Защитным перегородка, защитная камера (при рентгенографии).	При рентгенографии радиобольной должен находиться первоначально находится совершенно вне рентгенового кабинета за защитной стеной. Свинцовый эквивалент 2 м.м. Если защита рентгеновой трубки не достигает указанных выше размеров, то эта цифра должна быть соответственно увеличена (15).	Помещение для лечения отделяется свинцовой стеной толщиной: свинц. эквив. до 150 кв выше 150 кв 5 м.м. 6 м.м. свинц. стекло до 150 кв выше 150 кв 20 мм	Если рентгеновая трубка заключена в чехол недостаточного действия, то помещены для лечения и вспомогательные должны быть разделены. Свинц. эквив.: до 165 кв до 220 кв 3,0 м.м. 4,5 м.м. Если же чехол имеет достаточно защитное действие, то тогда для помещения прямых лучей необходимы: свинц. эквив. до 165 кв 3,0 м.м. до 220 кв 4,5 м.м. сталью 220 кв 6,0 м.м.	
Теряния.				

Защита от высокого напряжения	Под помещения должны быть покрыты изолирующим материалом, напр., деревом, резиной, или листовым (23). Проводники высокого напряжения должны быть на высоте от пола не менее 3 м. Они должны быть из толстых металлических трубок или другого типа изолирующих проводников. Ответвления также должны быть изолированы шпильками (24). Ведем должно быть установлено замещение металлических частей аппаратуры в соседстве с высоким напряжением (25). Предлагается пользоваться блэстродействующими звукопоглощающими материалами. Шпильки предохранителями не следует пользоваться (26). Для измерения напряжения у трубки должен быть соответствующий конструктивный коэффициент (27).	Электроустановки для рентгеновских кабинетов должны отвечать требованиям. Правила безопасности и правила устройства для электротехнических сооружений и высокого напряжения", одобренных VIII Всероссийским Электротехническим Съездом и имеющим обязательную силу согласно постановлению НКУ СССР от 22 ноября 1924 г. № 478/487 (13). Шпильки другие установки (токи Д'Арсева, кварцевые лампы и т. п.) в рентгеновских кабинетах недопустимы (14).	Для рассеянных лучей: свинц. эквив. до 165 кв 1,5 м.м. до 220 кв 2,0 м.м. свыше 220 кв 3,0 м.м.  Общие определения. Рентгеновские установки делятся на 4 класса. Класс А. Установки, у которых все токоведущие части высокого напряжения заключены в металлическую замкнутую оболочку. Класс В. Установки, у которых выделено определенное класс А только в комнате для исследования и в рабочем помещении. Класс С. Провода высокого напряжения отгорожены на высоте не менее 2 м от пола замкнутой проводимой поверхностью или изолирующей поверхностью, безопасной при высшем рабочем напряжении. Класс D. Провода высокого напряжения свободны и доступны. Все классы от А до D в своем устройстве должны отвечать требованиям Правил устройства для электротехнических сооружений и высокого напряжения. Совет Германских Электротехников.	Под в рентгеновском кабинете должен быть покрыт паркетом, пробкой, линолеумом или резиной (1). Везде, где возможно, на высоком напряжении должны применяться вместо проводов толстые металлические трубки без отступов или резких углов. Эти трубки должны проходить над полом на высоте не менее 2,5 м и ниже потолка: при диагностической работе — не менее 30 см, и при терапии — не менее 50 см. Все проводники высокого напряжения, к которым можно прикоснуться, должны быть защищены толстыми изолирующими трубками. Проводники, находящиеся в употреблении, не должны оставаться под напряжением. Свободно свешивающиеся проводников следует избегать (2). Везде, где возможно, должны применяться звукопоглощающие материалы (3). Шпильки предохранителей на большую силу тока не должны применяться (4).
-------------------------------	--	--	--	---



## Терминалы.

Покрытые металлом защитные стенки и кожухи должны быть заземлены (5).

Рентгенодиагностика.

Цель высокого напряжения не должна быть ни где заземлена. Возможность перераспределения искры на земляные части не допускается.

Штативы должны быть заземлены. В тех же штативах, где большой может случайно соприкоснуться с проводом высокого напряжения, металлические части не должны быть заземлены.

Рентгенотерапия. Цель высокого напряжения не должна быть, ни где заземлена или душно изолирована (1).

Большой не должен быть заземлен (2).

Большой не должен быть в проводящем соединении или в непосредственном соседстве с крупными металлческими частями.

При использовании конденсаторными генераторами необходимо по преобразованию работы разрядить конденсаторы.

*Класс А — С.* Заземленной металлической заливкой допускается металлические решетки или сетки с отверстием, не превышающим 1 кв. см.

*Класс С.* Защитными оболочками на изолированном материале должна поддерживаться испытание на изоляцию при 1,25-кратном наибольшем рабочем напряжении. Испытание должно производиться в любой точке наружной поверхности защитной оболочки посредством прикладывания заземленного металлческого шарика диаметром в 1 см в течение 1 мин. В помещении для работы должны быть предусмотрены предохранительные приспособления, показывающие, что генератор выключен.

*Класс D.* Аппараты с заземленной точкой высокого напряжения допускаются только в том случае, если предусмотрено специальное приспособление, выключающее быстро выключку напряжения при присоединении

к одному из полюсов. Должен быть предусмотрен максимальный выключатель на проводах, питающих трансформатор.

Полы из бетона или камня должны быть покрыты деревянной или пробковой обшивкой, или линолеумом. Футляры для аппаратов на высоковольтном водного материала должны быть безопасны при высоком рабочем высоком напряжении или же они должны быть ограждены заземленными перилами. Минимальная высота над полом жестко закрепленных незащищенных проводов высокого напряжения должна быть для установок:

менее 75 кв . . . . . 2,9 м  
от 75 — 130 кв не менее 2,3 м  
от 130 — 250 кв . . . . . 2,5 м

Приспособление для вольтового лампана конденсатора должно приводиться в действие из защитной камеры или из кабинета для термин.

Если трубка и проводника высокого напряжения полностью защищены чехлами, правила 1 — 3 не применяются.

## ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ СКЛЕРОМЕТРИЧЕСКИЙ МАЯТНИК МЕНДЕЛЕЕВА.

М. Н. Младенцев.

Опытное исследование колебания весов<sup>1)</sup>, проведенное в 90-х годах Д. И. Менделеевым, выдвинуло перед ним множество задач интереснейшего свойства. Разрешение им одной из них—о влиянии трения ножа или призма о подставку на время колебания маятника и применение этого явления для определения твердости вещества—и есть предмет настоящей статьи.

Вопрос о трении ножа или призма о подставку интересовал Д. И. Менделеева еще в начале 70-х годов прошлого столетия, когда велась им работа над упругостью газов. В своем классическом труде „Об упругости газов“ он пишет: „особенно интересно было бы изучить влияние так называемого трения, которое можно найти, определяя  $P$ ,  $m$ ,  $l$  и наблюдая при данном  $p$  углы наклоения. Весьма важно узнать, как изменится это трение с нагрузкою, материалом призм и т. п. Определение времени окажется, вероятно, при этом полезным для изучения весов<sup>2)</sup>“. И вот в 90-х годах, т.-е. через 20 лет, пред Д. И. Менделеевым снова встает вопрос о влиянии трения ножа или призма о подставку и разрешается им путем опыта — вераменой подушки или подкладки под средним ножом, на котором колеблется все коромысло. Для этих опытов служили весы Н е м е т ц а, где средний нож из кремня, а агатовую подушку, на которую он опирается, легко заменить любой плугою. В этих опытах все прочее (например, нагрузка, положение центра тяжести и т. п.) оставалось без изменения, а следовательно, переменн чувствительности, время размахов и декремента происходили под влиянием того трения, которое должно играть свою роль в этом, как и во всяком маятнике, конечно, кроме идеального или математического.

Наблюдения велись с подушками различной твердости и упругости, а именно: из агата, из закаленной стали, из мягкого вольфрамового железа, латуни, красной меди, слоновой кости, бычьего рога и из твердого каучука. Наблюдений нельзя было произвести ни на олове, ни на целлулоиде, потому что в них нож, хотя и слегка, но явно врезался, и качания тотчас прекращались, тогда как на восьми указанных подкладках они совершались и не оставляли никакого видимого следа, хотя при нагрузке каждой чашки в 1 фунт общий вес колеблющейся массы достигает 2178 граммов.

Из этих опытов, поверившихся повторением, несомненно, следует, что по мере уменьшения твердости подушки — а выше они и перечислены по уменьшающей твердости, — во-первых, чувствительность сильно уменьшается (в  $4\frac{1}{2}$  раза — при переходе от агата к стали к твердому каучуку), во-вторых, время одного размаха также уменьшается (в  $2\frac{1}{4}$  раза при указанном переходе), и в-третьих, декремент сильно возрастает (от 1,03 до 1,25 при переходе от агата к твердому каучуку). Это последнее возрастание декремента идет в разрез с уменьшением чувствительности, так как при той же нагрузке, если и весы Н е м е т ц а искусственно поменять центр тяжести и чувствительность весов уменьшить, то уменьшится не только время размахов, но и декремент. Здесь же он не уменьшился, а увеличился. Всего же разительнее то, что время размаха — при всех прочих равных обстоятельствах, т.-е. при том же положении

<sup>1)</sup> Д. И. Менделеев. „Опытное исследование колебания весов“, СПб. 1898 г.

<sup>2)</sup> Д. И. Менделеев. „Об упругости газов“. СПб. 1875 г., стр. 36 ( $P$  — вес коромысла,  $l$  — длина плеча,  $m$  — расстояние центра тяжести коромысла от точки его опоры,  $p$  — груз (перевес на одной из чашек). Известная формула:  $\operatorname{tg} \alpha = p \cdot \frac{1}{m} \cdot \frac{l}{P}$ , относящаяся к равноплечному коромыслу, у которого точка опоры и точки привеса чашек лежат на одной прямой, связывает эти величины,  $\alpha$  — угол уклоения коромысла.

центра тяжести, при той же нагрузке и при тех же сопротивленных среды, — изменилось и очень сильно; а именно: вместо 33 сек. — на агате или закаленной стали, — на меди такой же размах давал 25 сек., на роге — 18 сек., а на твердом каучуке — только 15 сек. Отсюда эмпирически очевидно, что времена размахов очень явно зависят у весов от трения полей<sup>1)</sup>.

О своих опытах Менделеев в 1898 г. 9 июня сообщает Лондонскому Королевскому Обществу, о чем сохранилась заметка в его записной книжке 1898 г.:

28 мая Четверг . . . . . Со-  
9 июня  
общил свое лорду Кель-  
вину: В заседании Рам-  
зай о кристале на воз-  
духа. Ему Крукс, лорд  
Рейлей, Ливенг и  
Дьюар. Меня вызывали,  
хлопали. Я отказался го-  
ворить. За меня читал  
мою краткую статью о  
колебании Дьюар. Лорд  
Кельвин (Томсон)  
замети: „что в сущности  
качающее трение“.

Вотой краткой статье, напечатанной в Proceedings of the Royal Society Vol. 63 p. 459 — Experimental Investigations on the oscillations of balances — Менделеев дает в сводку своих результатов в виде небольшо-  
й таблицы (см. стр. 290)<sup>2)</sup>.

Об этом же от имени Менделеева в августе 1898 г. сообщено Д. П. Коваловым 10-му Съезду русских естествоиспытателей в Киеве — речь: „О колебании весов“.

*Видоизмененный  
матрикс сдвинутого  
предельного для измерений  
веса на металлах, алмазах,  
корундах, кварце, стекле, каучуке*



*В приборе можно наблюдать  
и призма для отчета  
масса  
Средство для измерения  
качания*

*В. М. Шафуров* *Арретиры*

*22.11 1898*  
*AM*

Рис. 1<sup>3)</sup>.

<sup>1)</sup> Временник Главной Палаты мер и весов, ч. 4, изд. 1899 г. „Речь о колебании весов“, стр. 44.

<sup>2)</sup> Д. П. Менделеевым делается гипотетическое допущение, что декремент  $D_n$  ( $n$  — число колебаний) в первом приближении, при уменьшении размахов или отклонений, уменьшается пропорционально уменьшению отклонений  $r$ , а именно:

$$D_n = d + ar_n$$

где  $d$  и  $a$  — постоянные для данных весов при определенных условиях взвешивания, т. е.  $d$  и  $a$  не зависят от величины размахов или отклонений (размах почти равен  $2r$ ). В виду чего все наблюдения приводятся Менделеевым для сравнимости к определенным условиям, а именно: декременты отвечают отклонению  $r = 15$  делениям (или размаху  $R = 30$  делениям). [Д. Менделеев. „Опытное исследование колебания весов“. СПб. 1898 г., стр. 72 (формула VIII) и 81].

<sup>3)</sup> „Дифференциальный матрикс с длинным периодом для изучения твердости под-  
станок: алмаз, корунд, кварц, стекло, сланы. А — переменные подушки, В — призма  
для отчета шпалы, С — регулятор времени качания. В шкафу все. Арретир. 22 августа  
1898 г. Д. М.“ . . . „зерка для элонгаций“.

Материал средней призмы	Время качания $t_{10}$	Декремент $D_{10}$	$K$ <sup>1)</sup>
Твердая сталь . . . . .	33,3 сек.	1,034	0,043
Агат . . . . .	32,7 "	1,031	0,044
Медь . . . . .	25,4 "	1,065	0,071
Рог . . . . .	18,2 "	1,115	0,093



Рис. 2.

Результаты, полученные Менделеевым, дали ему возможность установить новый метод для определения твердости вещества, что практически вылилось в сконструировании им двух дифференциальных маятников<sup>2)</sup>, как они названы им в сохрани-

<sup>1)</sup>  $K$ —число миллиграммов, отвечающих одному делению шкалы.

<sup>2)</sup> Оба маятника хранятся в Менделеевском музее Главной Палаты мер и весов.



шейся его заметке на почтовом листе, в которой дан и эскизный набросок (рис. 1) и лист со сметой на покупку минералов для опытов.

Через 25 лет, т. е. в 1823 г. английским инженером Гербертом сконструирован подобный же прибор и на тех же началах, что даны Менделеевым.

Первый малтник (рис. 2). Диск — цилиндр с основанием радиуса 70 мм, и с высотой 4,5 мм. В диске — эксцентричный, симметрично относительно вертикального диаметра, вырез радиуса 36,5 мм. В верхней части выреза — призма (нок), она устроена так, что может быть заменена другой иного вещества. В нижней части выреза — два стержня с винтовой нарезкой, симметрично относительно вертикального диаметра наклоненные друг к другу под углом в  $120^\circ$ . На них гайки, перемещение

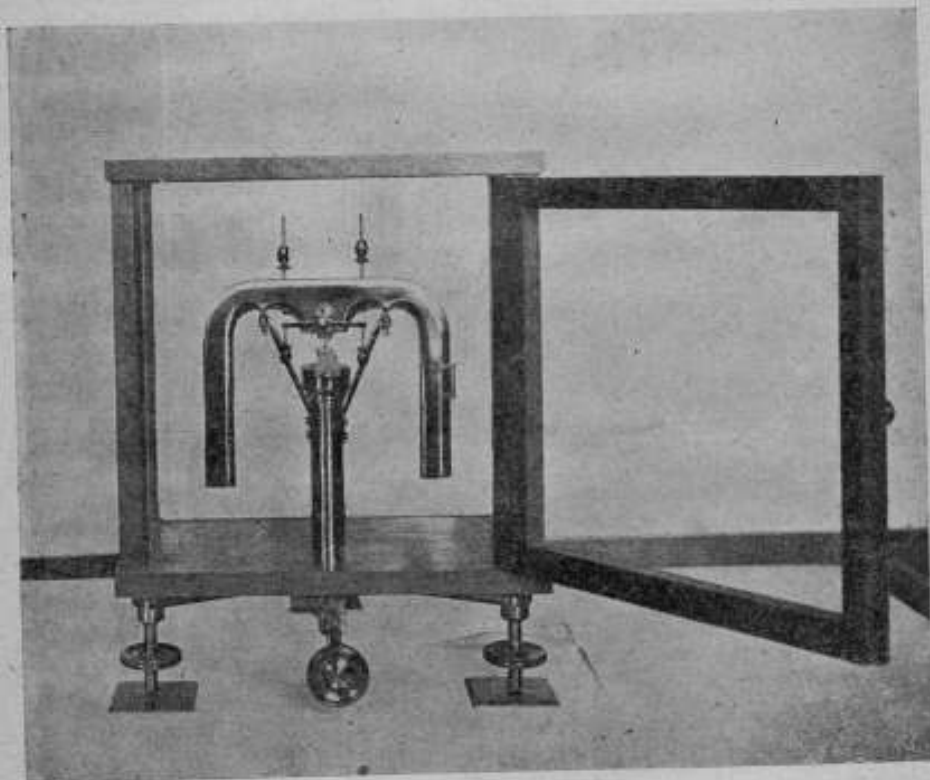


Рис. 3.

их позволяет изменять положение центра тяжести. Для этой же цели служит и массивная гайка на верхней части диска. Малтник — на колонке в стеклянном футляре на трех ножках (с винтовой нарезкой). Имеется арретир и поддувало для приведения малтника в колебание. Отчет ведется при помощи зеркала, укрепленного на боковой стороне диска через слюдяную пластинку, которой закрыт вырез в боковом стекле футляра. Вес малтника 520 г.

Второй маятник (рис. 3) — подковообразной формы, поперечное сечение которой дано на рис. 4. Призма (нож) прикреплена при помощи особой системы из двух скоб, скрепленных между собой и обращенных

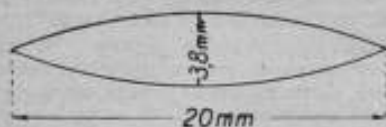


Рис. 4.

в отверстиях и прямо противоположные стороны. Ветви скоб с винтовой нарезкой, на которых перемещаются гайки. Перемещением их достигается изменение положения центра тяжести маятника. Маятник — на колонке в стеклянном футляре на трех ножках (с винтовой нарезкой), имеется пружин.

Отчеты колебаний производится тем же зеркальным методом, что и в первом маятнике, и также через сплошную пластину, которой закрыт пирез в стенке боковой стенки футляра. Вес маятника 250 г.

ПОЛОЖЕНИЕ О МЕЖДУНАРОДНОЙ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ШКАЛЕ, ПРЕДСТАВЛЕННОЕ БЮРО СТАНДАРТОВ, НАЦИОНАЛЬНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИЕЙ И ГОСУДАРСТВЕННЫМ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИМ ИНСТИТУТОМ НА ОБСУЖДЕНИЕ 7-й ОБЩЕЙ КОНФЕРЕНЦИИ ПО МЕРАМ И ВЕСАМ И ПРИНЯТОЕ ЭТОЙ КОНФЕРЕНЦИЕЙ 4 ОКТЯБРЯ 1927 Г. 1).

ВВЕДЕНИЕ.

Практика Bureau of Standards, равно как и практика National Physical Laboratory и Physikalisches Reichsanstalt, уже давно показали необходимость для нужд промышленности международного соглашения относительно шкалы температур в пределах, включающихся между температурой жидкого кислорода и температурой свечения накаливаемых тел. Как результат длительного обсуждения этого вопроса тремя лабораториями, мы даем ниже определенную, относящуюся к практической шкале, методику обеспечить для промышленности целей достаточною основу, на которой можно поддерживать единообразие в измерениях температур.

Не следует думать, что настоящее предложение предполагает замену абсолютной шкалы температур, напротив оно рекомендует в принципе ее принятие Общей Конференцией по мерам и весам. Желательно лишь представить эту шкалу практически, с точностью, достаточной для повседневных нужд лабораторий при промышленных измерениях; на нее следует смотреть, как на подлежащую пересмотру и исправлению, по мере достижения более точных методов измерений.

Эта шкала будет принята немедленно тремя лабораториями для указанных целей; и настоящее положение представлено Конференции с рекомендацией принять его официально (внес в него изменения, если это необходимо), как наилучшее и самый момент практического осуществления идеальной термометрической шкалы.

1) В 1911 году между тремя национальными метрологическими лабораториями: Bureau of Standards (С. Ш. А.), National Physical Laboratory (Англия) и Physikalisches Reichsanstalt (Германия) были начаты переговоры об установлении единой температурной шкалы на всем протяжении ее практического применения, и в 1913 г. в Лондоне представители этих лабораторий выработали сообща положение о температурной шкале, принятое во внимание соображения Лейденской Криогенной Лаборатории, касающиеся низких температур. В 1927 году Международный Комитет мер и весов внес на рассмотрение 7-й Общей Конференции по мерам и весам следующее предложение:

„Комитет, признавая важность практического воспроизведения международной температурной шкалы, рекомендует Конференция принять, временно, температурные реперы, интерполяционные формулы и методы измерения, предложенные сообща тремя национальными лабораториями Германии, Соединенных Штатов Америки и Англии.

Комитет рекомендует также, чтобы рассмотрение предлагаемого положения было включено в программу специальных термометрических конференций, которые будут работать под его наблюдением\*.

Это предложение было принято Конференцией единогласно всеми представителями 31 государства.

Главная Палата мер и весов, постановлением Метрологического Совета от 21 марта 1929 года, приняла, как основу для своих работ, Положение о международной температурной шкале, о чем поставила в известность Международное Бюро мер и весов.

## ЧАСТЬ ПЕРВАЯ.

## Определение международной температурной шкалы.

1. Термодинамическая стоградусная шкала, у которой температура тающего льда и температура конденсации водяного пара, при нормальном атмосферном давлении, обозначены соответственно через  $0^\circ$  и  $100^\circ$ , признается основной шкалой, к которой окончательно должны относиться все температуры.

2. Экспериментальные условия, необходимые для практического осуществления термодинамической шкалы, заставили принять, для международного пользования, практическую шкалу, под названием международной температурной шкалы. Эта шкала согласуется с термодинамической шкалой настолько возможно близко и поскольку наши современные знания позволяют это проверить. Она должна быть определенной и удобной для точного воспроизведения и, кроме того, должна давать способ установления единого значения температур на всем ее протяжении. Таким образом она будет содействовать единообразию численных значений температур.

3. Температуры, измеряемые по международной шкале, обычно должны обозначаться символом  $^\circ\text{C}$ ; но можно также употреблять обозначение  $^\circ\text{C (Int.)}$ , если желательно обратить внимание на употребление именно этой шкалы.

4. Международная шкала температур основывается на ряде постоянных и легко воспроизводимых температур равновесия, которым присвоены численные значения; она пользуется также показаниями интерполяционных приборов, градуированных по этим температурным реперам согласно общепринятым методам.

5. Основные постоянные точки и присвоенные им численные значения при нормальном атмосферном давлении, приводятся в нижеследующей таблице вместе с формулами, представляющими температуру, как функцию давления пара.

6. Основными постоянными точками международной температурной шкалы служат:

a. Температура равновесия между жидким и газообразным кислородом при нормальном атмосферном давлении (точка кипения кислорода) . . . . .  $182^\circ,97$

$$t_p = t_{760} + 0,0126 (p - 760) + 0,0000065 (p - 760)^2$$

b. Температура равновесия между льдом и насыщенным воздухом водой при нормальном атмосферном давлении (точка плавления льда) . . . . .  $0,000$

c. Температура равновесия между жидкой водой и ее паром при нормальном атмосферном давлении (точка кипения воды) . . . . .  $100,000$

$$t_p = t_{760} + 0,0387 (p - 760) - 0,000023 (p - 760)^2$$

d. Температура равновесия между жидкой серой и ее паром при нормальном атмосферном давлении (точка кипения серы) . . . . .  $444,60$

$$t_p = t_{760} + 0,0909 (p - 760) - 0,00004 (p - 760)^2$$

e. Температура равновесия между твердым и жидким серебром при нормальном атмосферном давлении (точка плавления серебра) . . . . .  $960,5$

f. Температура равновесия между твердым и жидким золотом при нормальном атмосферном давлении (точка плавления золота) . . . . .  $1063,0$

Нормальное атмосферное давление определяется, как давление столба ртути высотой в 760 мм, имеющей удельную массу в 13,595 грамма на кубический сантиметр, при ускорении силы тяжести равном  $980,665 \text{ см/сек}^2$ ; оно эквивалентно  $1013,250 \text{ динам/см}^2$ .

Для практической температурной шкалы существенно, что определенные численные значения даются таким выбранным постоянным точкам. Надо заметить, однако, что последний десятичный знак каждого числа, приведенного в таблице, указывает лишь на возможность воспроизведения этой постоянной точки в международной темпе-



ратурной шкале, но это не значит, что приведенные величины обязательно должны быть известны с той же точностью и в термодинамической шкале.

7. Методы интерполяции приводят к подразделению шкалы на четыре области.

а. От точки плавления льда до  $660^{\circ}\text{C}$  температура  $t$  выводится из сопротивления  $R_t$  эталонного платинового термометра сопротивления при помощи формулы:

$$R_t = R_0 (1 + At + Bt^2).$$

Константы  $R_0$ ,  $A$  и  $B$  определяются путем наблюдений в точке плавления льда и в точках кипения воды и серы.

б. От  $-190^{\circ}\text{C}$  до точки плавления льда температура получается из сопротивления  $R_t$  эталонного платинового термометра сопротивления при помощи формулы:

$$R_t = R_0 [1 + At + Bt^2 + C(t - 100)t^3].$$

Константы  $R_0$ ,  $A$  и  $B$  определяются, как указано выше, а дополнительная константа  $C$  получается из наблюдений в точке кипения кислорода.

Чистота и физические свойства платины, из которой изготавливается термометр, должны быть таковы, чтобы отношение  $R_t/R_0$  не было меньше 1,390 для  $t = 100^{\circ}$  и 2,645 для  $t = 444^{\circ},60$ .

У эталонного термометра, при употреблении его ниже  $0^{\circ}\text{C}$ , кроме того отношение  $R_t/R_0$  должно быть меньше 0,250 для  $t = -183^{\circ}$ .

с. От  $660^{\circ}\text{C}$  до точки плавления золота температура выводится из электродвижущей силы  $\epsilon$  эталонной платина-платинородиевой термометры, одна спай которой удерживается при постоянной температуре, а другой—подвергается действию температуры  $t$ , определяемой формулой:

$$\epsilon = a + bt + ct^2.$$

Константы  $a$ ,  $b$  и  $c$  определяются, подвергая термометру действию температур в точке затвердевания сурьмы и в точках плавления золота и серебра.

д. Выше точки плавления золота температура  $t$  определяется отношением силы света  $J_2$  видимых монохроматических лучей выраженной в сантиметрах длины волны  $\lambda$ , пропускаемых черным телом при температуре  $t$ , и силе света  $J_1$  лучей той же длины волны, пропускаемых черным телом в точке плавления золота.

Формула:

$$\log \frac{J_2}{J_1} = \frac{C_2}{\lambda} \left( \frac{1}{1336} - \frac{1}{t + 273} \right),$$

в которой величина  $C_2$  равна 1,432 см-градусам, служит для определения  $t$ , когда  $(t + 273)$  меньше 0,3 см-градуса.

## ЧАСТЬ ВТОРАЯ.

### Подробные спецификации.

1. *Кислород.* Температура равновесия между жидким и газообразным кислородом наиболее достоверно получается статическим методом путем сравнения в соответствующей ванне для низкой температуры термометра, погруженного в эталонированную, с термометром давления паров кислорода.

2. *Лед.* Температура таящего льда получается, как температура, при которой лед, разбитый на мелкие кусочки, находится в равновесии с чистой насыщенным воздухом водой при нормальном атмосферном давлении. Увеличение давления вызывает повышение точки замерзания на 0,007 градуса C на атмосферу.

3. *Водяной пар.* Температура конденсации водяного пара получается при помощи гиссометра, защищенного от перегрева пара около термометра и от прощивания воздуха или других примесей. При соблюдении указанных условий наблюдаемая температура должна быть независима от скорости притока пара к кипятильнику, за исключением тех случаев, когда это может повлиять на давление внутри кипятильника,— и от времени действия гиссометра.

4. *Сера.* Для эталонирования термометров сопротивления температура конденсации паров серы получается при выполнении нижеследующих спецификаций, относящихся к кипятильнику, чистоте серы, экранам против излучения и к применяемым приборам вообще.

Кипятильная трубка делается из стекла, плавленого кварца или другого инертного материала, с внутренним диаметром не менее 4 см и не более 6 см. Столб пара должен быть такой высоты, чтобы нижний край экрана был по крайней мере на 6 см выше свободной поверхности жидкости, а верхний его край — по крайней мере на 2 см выше изолирующего материала, защищающего трубку от притока окружающего тепла. Лучше всего пользоваться электрическим нагреванием, хотя можно пользоваться и газом; источник тепла и все соприкасающиеся с ним хорошо проводящие материалы должны кончатся по крайней мере на 4 см ниже свободной поверхности жидкой серы. Над источником тепла трубка окружается изолирующим веществом. Всякое приспособление, закрывающее конец трубки, должно иметь свободное отверстие для выравнивания давления.

Сера не должна содержать более 0,02% примесей. (Сера является примесью, встречающейся чаще всего в количестве достаточном, чтобы повлиять на точку кипения).

Экран должен иметь форму открытого снизу цилиндра, снабженного сверху конической частью, плотно охватывающей защитную трубку термометра. Диаметр его цилиндрической части должен быть на 1,5—2,5 см больше диаметра защитной трубки термометра и по крайней мере на 1 см меньше внутреннего диаметра кипятильной трубки. Цилиндр должен быть по крайней мере на 1,5 см с каждого конца длиннее рабочей обмотки термометра. Сверху и снизу цилиндра должно быть достаточное пространство для свободной циркуляции пара. Под термометром должна быть помещена горизонтальная пластинка для защиты его от прямого действия излучений нагретой жидкости. Внутренняя стенка экрана должна быть слабо отражающей; экран может быть изготовлен из металлического листа, графита и т. п.

При эталонировании термометра сера нагревается до точки кипения, и нагревание регулируется так, чтобы линия конденсации была по крайней мере на 1 см выше верхней части изолирующего материала. Термометр вместе с экраном погружается в пар, и когда линия конденсации достигнет снова своей прежней высоты, производится одновременное наблюдение сопротивления и барометрического давления. Во всех случаях следует тщательно убедиться, что температура не зависит от вертикальных перемещений термометра с экраном по крайней мере на 3 см.

5. *Серебро и золото.* Для эталонирования термометра металл должен помещаться в тигле из чистого графита, огнеупорного фарфора или какого-либо другого не действующего на металл материала, могущего загрязнить его заметным образом.

Нагретое серебро нужно защищать от доступа кислорода.

Тигель с металлом помещается в электрическую печь, пригодную для нагревания его содержимого до равномерной температуры.

Металл расплавляется и доводится до равномерной температуры, на несколько градусов превышающей точку плавления, затем металлу вместе с погруженной в него термометром дают медленно охладиться, как описано ниже.

Термометр, монтированный в фарфоровую трубку с фарфоровыми изоляторами, разделяющими две проволоки, погружается в расплавленный металл через отверстие, сделанное в центре крышки тигля. Глубина погружения должна быть таковой, чтобы, пока идет затвердевание, можно было поднять или опустить термометр по крайней мере на 1 см от ее нормального положения, не применяя электродвижущую силу более, чем на один микровольт.

Во время затвердевания электродвижущая сила должна оставаться постоянной в пределах одного микровольт в течение по крайней мере пяти минут.

Чтобы убедиться в отсутствии влияния внешних условий на наблюдаемую температуру, можно вместо перемещения термометра также определять точки затвердевания и плавления, и если они разнятся между собою не более, чем на 2 микровольт, их можно считать удовлетворительными.

6. *Эталонный платиновый термометр сопротивления.* Диаметр проволоки должен заключаться в пределах между 0,05 мм и 0,2 мм.

Платиновая проволока термометра должна быть монтирована с минимальным механическим натяжением, чтобы при изменении температуры могла происходить минимальная механическая деформация платины.

Конструкция термометра должна быть такова, чтобы та его часть, сопротивление которой измеряется, была сделана только из платины и могла равномерно нагреваться до измеряемой температуры.

После работы термометр необходимо отжигать при температуре не ниже 660°.

7. *Эталонная термомпара.* Платина эталонной термомпары должна быть настолько чистой, чтобы отношение  $R_t/R_0$  не было меньше 1,390 для  $t = 100^\circ$ . Сплав должен содержать 90% платины и 10% родия. Готовая термомпара, когда одна спай ее находится при  $0^\circ$ , а другой—при температуре, соответствующей точке затвердевания золота, должна давать электродвижущую силу не менее 10 200 международных микровольт и не более 10 400 международных микровольт. Диаметр проволоки эталонных термомпар должен заключаться в пределах от 0,35 мм до 0,65 мм.

Точка затвердевания сурьмы, принятая для эталонирования термомпары, находится в интервале между  $0^\circ$  и  $660^\circ$ , в котором международная шкала устанавливается по показаниям эталонного термометра сопротивления, а численное значение этой температуры должно быть определено термометром сопротивления. Для этого значения в п. 8 дается цифра  $630^\circ,5$ , но следует определять, в каждом отдельном случае, температуру данной порции сурьмы, употребляемой для эталонирования термомпары, с помощью эталонного термометра сопротивления.

При использовании в качестве постоянной температуры точкой затвердевания сурьмы применяется метод подобный в существенных чертах методу, описанному для серебра. Сурьма обладает свойством сильного переохлаждения. Это переохлаждение не будет чрезмерным, если нагреть металл только на несколько градусов выше его точки плавления и жидкий металл размешивать. Во время затвердевания температура должна по крайней мере в течение пяти минут оставаться постоянной в пределах 0,1 градуса.

8. *Второстепенные точки.* Кроме основных постоянных точек можно получить температуры некоторых других точек и пользоваться ими для эталонирования вторичных приборов, предназначенных для измерения температур. Ниже приводится ряд точек. Соответствующая им температура отнесена к нормальному атмосферному давлению. Формулы, связывающие давление пара с температурой, пригодны в пределах от 680 до 780 мм.

Температура равновесия между твердой и газообразной углекислотой . . . . . —  $78^\circ,5$

$$t_p = t_{760} + 0,1443 (t_p + 273,2) \log_{10} (p/760).$$

Температура затвердевания ртути . . . . . — 38,87

Температура перехода сернистого натрия . . . . . 32,38

Температура конденсации паров нафталина . . . . . 217,96

$$t_p = t_{760} + 0,208 (t_p + 273,2) \log_{10} (p/760).$$

Температура затвердевания олова . . . . . 231,85

Температура конденсации паров бензофенона . . . . . 305,9

$$t_p = t_{760} + 0,194 (t_p + 273,2) \log_{10} (p/760).$$

Температура затвердевания кадмия . . . . . 320,9

Температура затвердевания свинца . . . . . 327,3

Температура затвердевания цинка . . . . . 419,45

Температура затвердевания сурьмы . . . . . 630,5

Температура затвердевания меди в восстановительной атмосфере . . . . . 1 083

Температура затвердевания ванадия . . . . . 1 555

Температура плавления полифрама . . . . . 3 400

## НЕКРОЛОГИ.



*Д. П. Коновалов*

**Д. П. Коновалов.**

6-го января 1929 г. скончался действительный член Академии Наук, Президент Главной Палаты мер и весов Дмитрий Петрович Коновалов, и в его лице наука потеряла одного из своих крупнейших представителей, выдающиеся труды которого в области химии уже давно приобрели ему мировую известность.

Д. П. Коновалов родился 10 марта 1856 г. в Екатеринославской губернии и среднее образование получил в Екатеринославской гимназии, которую окончил в 1873 г.



с золотой медалью. Чувствуя стремление к прикладному знанию, Д. П. Коновалов не пошел в Университет, но поступил в Горный Институт на заводское отделение и особенно внимательно обратил на изучение химии и металлургии, причем на ряду с теоретическими знаниями, приобретаемыми на лекциях и в лабораториях, он получал и практические — во время летней практики на металлургических заводах и рудниках, главным образом Урала. В 1878 году он блестяще окончил Горный Институт первым по заводскому отделению и, по обычаю того времени, был записан на мраморную доску в конференционном зале Института. Получив звание и диплом горного инженера, Д. П. Коновалов не пошел на практическую работу, но решил отдаться научной деятельности в области химии, и с целью более глубокого изучения этой науки, он поступил в С.-Петербургский Университет на физико-математический факультет, который и окончил через два года. Занимаясь в Университете, он имел возможность не только углубить свои знания по химии, но основательно ознакомиться и с другими науками, преподаваемыми выдающимися профессорами и учеными. Химию он изучал под руководством профессоров Д. И. Менделеева и А. М. Бутлерова, имена которых имели мировую известность, высшую математику изучал у академика П. Л. Чебышева и проф. К. А. Поссе, физиологию — у проф. И. М. Сеченова. В то же время он работал в лаборатории органической химии у проф. А. М. Бутлерова, и здесь им была сделана первая самостоятельная научная работа (о прямом нитровании жирных углеводородов), напечатанная в Известиях Академии Наук (1881 г.). Окончивши Университет, Д. П., по совету Д. И. Менделеева, отправился за границу и поступил в Страсбургский Университет, где стал работать в физической лаборатории у проф. Кундта, который обратил на него особое внимание и оказывал ему всякое содействие в его научных работах. В этой лаборатории Д. П. Коновалов задумал и начал свои исследования над упругостью пара растворов, которые впоследствии дали ему европейскую известность. За границей он пробыл год и затем возвратился в Петербург, где снова стал работать в лаборатории А. М. Бутлерова, продолжая главным образом свои исследования над упругостью пара растворов, а в 1882 году, по предложению проф. Н. А. Меншуткина, занял место ассистента в лаборатории аналитической химии, и в этой лаборатории он закончил свои исследования и напечатал их в виде диссертации для получения степени магистра химии под названием: „Об упругости пара растворов“. Защитил в 1884 г. эту диссертацию, он получил степень магистра химии и вслед затем, в качестве приват-доцента, открыл курс физической химии на физико-математическом факультете С.-Петербургского Университета. В 1885 году он защитил диссертацию на степень доктора химии („Роль контактных действий в явлениях диссоциации“) и после этого был избран профессором Университета по кафедре химии. Сначала он читал лекции по аналитической и технической химии, а с 1890 г., после ухода из Университета Д. И. Менделеева, он занял кафедру неорганической химии, на которой оставался до 1907 г. В этот же период времени он читал лекции по химии в Институте Инженеров Путей Сообщения, а с 1900 г. — в Горном Институте. Лучшие годы своей жизни с 1882 по 1907 г. Д. П. Коновалов посвятил работе в С.-Петербургском Университете, сначала в качестве ассистента и приват-доцента, а с 1886 г. — в качестве профессора, и в этот период он развил успешную научную деятельность и достиг громадных результатов как в своих научных исследованиях, так и в постановке и преподавании неорганической и физической химии в С.-Петербургском Университете. Уже в 1883 г. он опубликовал небольшую работу о хлористом шросульфурате, в которой показал, что это вещество, которое представляло единственное исключение из закона Авогадро-Жерара, в точности подчиняется этому закону, который является основанием современной химии и который получил таким образом свое полное и окончательное утверждение. В 1885 г. он опубликовал свою магистерскую диссертацию: „Об упругости пара растворов“, которая обратила на себя всеобщее внимание и сразу доставила ее автору европейскую известность. Изучив соотношения, существующие между составом растворов жидкостей и упругостями их пара, он установил целый ряд закономерностей, выяснивших различные стороны природы растворов, и разъяснил многие явления, связанные с кипением и перегонкой растворов. Он открыл общие законы, определяющие переход растворов из жидкого состояния в газообразное, которые известны в науке под названием „законов Коновалова“ и которые много лет спустя были распространены на явления перехода растворов из жидкого состояния в твердое и легли в основание современного учения о сплавах (металлография).

когда происходит образование „твердых растворов“. Эти исследования, представляли высокую научную ценность, имели громадное значение для практики, так как дали возможность правильно и рационально поставить те производственные процессы, которые связаны с перегонкой растворов, как, например, это имеет место в переработке нефти для получения из нее самых разнообразных продуктов (керосина, бензина, лигроина, пиролафта и т. п.). Несмотря на то, что со времени появления этой работы прошло свыше 40 лет, многочисленные исследования по этому вопросу, появившиеся за эти годы, не прибавили ничего существенного к тому, что сделано было Д. П. Коноваловым. Все курсы физической химии, начиная с девяностых годов прошлого века, излагают сущность этой работы Д. П. Коновалова (Оствальд, Вант-Гофф, Нернст и др.). Последующие работы его касались самых различных вопросов химии, а именно: теории растворов, электропроводности, каталитических явлений, химических равновесий и т. п. Насколько эти работы имели крупное значение, можно судить из того, что в 1914 году Русское Физико-Химическое Общество присудило ему большую премию имени Д. П. Менделеева. Все эти работы печатались как в журнале Р. Ф. Х. О., так и в различных иностранных научных журналах. Д. П. Коновалов принимал самое деятельное участие в жизни Русского Физико-Химического Общества и с 1899 г. по 1907 г. состоял допроизводителем его. Не менее плодотворной была деятельность его, как профессора и учителя. С первых же шагов своей профессорской деятельности Д. П. Коновалов выдвинулся, как выдающийся и блестящий лектор. Обладал исключительным ораторским талантом, он излагал свои лекции с необыкновенной простотой, ясностью и логичностью. Завял кафедру неорганической химии в С.-Петербургском Университете, на которой в продолжение 30 лет Д. П. Менделеев создавал и развивал „Основы химии“ и „Периодический закон“. Д. П. Коновалов взял на себя трудную и ответственную задачу сохранить на должной высоте преподавание химии и он с выдающимся успехом выполнил эту задачу. Он не пошел по пути слепого подражания своему гениальному учителю, он продолжил его работу, давал новое направление изложению химии и вливал в нее новое содержание, сообразно с прогрессом научной мысли. В изложении неорганической химии он ввел элемент математики, механики, термодинамики, физической химии, при помощи которых отдельные факты и разнородные явления связывались между собой причинной связью и устанавливались общие и основные принципы химических превращений. Глубокое научное содержание лекций и блестящее изложение их производило незабываемое впечатление на слушателей, и громадная химическая аудитория, в которой он читал лекции, была всегда переполнена студентами. Занимаясь научными исследованиями, Д. П. Коновалов привлек к ним и многочисленных учеников своих, которые вели экспериментальные работы под его руководством в его лаборатории и из которых современем образовалась целая школа русских физико-химиков. Многие из них впоследствии сделались известными учеными и профессорами, а также видными деятелями на поприще техники и промышленности, как, например, проф. Е. В. Вирон, проф. М. С. Вревский, проф. И. И. Жуков, проф. В. Я. Курбатов, проф. В. Н. Верховский, проф. Н. Н. Тутурин, В. А. Яковлев, А. А. Жуков, А. Н. Доброхотов, Н. П. Пантюхов, В. Д. Саножников, В. А. Мюллер и др. На ряду с научной деятельностью Д. П. Коновалов посвятил много трудов вопросам техники и промышленности, особенно химической и металлургической. Во время своих поездок за границу и в Америку он близко изучал состояние техники и промышленности и в этих вопросах был одним из самых глубоких знатоков. Он принимал деятельное участие в организации Всемирной Выставки в Чикаго (1893 г.) и в Париже (1900 г.), а также Всероссийской Выставки в Н.-Новгороде (1896 г.). Из числа его работ в этом направлении следует указать написанную им книгу: „Промышленность Соединенных Штатов Северной Америки и современные приемы химической технологии“ (1894 г.).

В 1907 г. Д. П. Коновалов оставил профессию и был назначен директором Горного Департамента, а с 1908 г. по 1915 г. состоял товарищем министра торговли и промышленности, и в этих должностях занимался главным образом горными и металлургическими вопросами. Оставив в 1916 г. административную деятельность, Д. П. Коновалов снова вернулся к научным занятиям и занял кафедру минеральной технологии в Технологическом Институте. Период времени с 1918 г. по 1922 г. он провел в Днепропетровске (Екатеринославе), где состоял профессором Университета и Горного Института и председателем Научно-Технического Отдела.

В 1922 г. он был избран Президентом Главной Палаты мер и весов, каковую должность занимал до самой смерти. Он принимал самое деятельное участие в реорганизации и расширении Главной Палаты и организовал при ней Комитет эталонов и стандартов. В 1926 г. он был избран членом ВСНХ СССР. В то же время он продолжал свою научную деятельность в области химии. Последние работы, произведенные им, касаются вопроса о соотношении между теплопроизводительной способностью органических соединений и их строением. Эти исследования, проливающие новый свет на природу топлива, обратили на себя внимание не только у нас, но и за границей.

Высокие научные заслуги сделали имя Д. П. Коновалова хорошо известным всему ученому миру как у нас, так и за границей. В 1923 г. он был избран действительным членом Академии Наук. Он состоит почетным членом многих ученых обществ, а именно: Русского Металлургического Общества (с 1923 г.), Русского Физико-Химического Общества (с 1928 г.), Московского Общества Любителей Естествознания, Лондонского Химического Общества (с 1914 г.), Швейцарского Общества Естествознания, Французского Химического Общества, членом корреспондентом Геттингенского Научного Общества (с 1923 г.), членом Международного Комитета мер и весов и т. п.

9-го декабря 1928 года в Академии Наук состоялось торжественное празднование 50-летия научной деятельности Д. П. Коновалова, организованное Академией Наук, Главной Палатой мер и весов и Русским Физико-Химическим Обществом. На этом заседании в ряде речей и докладов была произведена оценка трудов Д. П. Коновалова и высказаны его многочисленные и высокие заслуги на поприще науки и техники. А через месяц, 9 января 1929 г. многочисленные его ученики, сотрудники и читатели пришли в музей его тела и говорили ему последнее прощание. Смерть Д. П. Коновалова последовала после кратковременной болезни (воспаление легких) утром 6 января.

В лице Дмитрия Петровича Коновалова сошел в могилу один из крупнейших представителей мировой науки, в истории которой имя его навсегда будет красоваться среди первоклассных творцов научной мысли. Для русской химии на ряду с именами Д. И. Менделеева и А. М. Бутлерова всегда будет являться гордостью и украшением имя Д. П. Коновалова.

*А. Байков.*

### А. Н. Георгиевский.

23 ноября 1928 года скончался старший метролог, заведующий эталонной термометрической лабораторией и член коллегии Метрологического Института Александр Николаевич Георгиевский. В его лице Главная Палата мер и весов потеряла ценного работника, а русская наука — крупного метролога.

А. Н. Георгиевский родился 16 апреля 1872 г. Среднее образование получил в 3-й Петербургской гимназии, а высшее — на физико-математическом факультете Петербургского Университета, по окончании которого в 1895 году он был оставлен на 2 года при Университете по кафедре физики для подготовки к профессорскому званию.

С этого же времени начинается преподавательская и лабораторная деятельность А. Н. Георгиевского. С 1895 г. по 1898 г. он руководит студенческим кружком по физике в Петербургском Университете, с 1895 года он становится руководителем практических занятий по физике в Институте Инженеров Путей Сообщения. В 1901 г. он становится ассистентом Военно-Медицинской Академии при кафедре физики, откуда в 1908 г., по приглашению управляющего Главной Палатой проф. Н. Г. Егорова, переходит на службу в Главную Палату мер и весов в качестве младшего инспектора, где ему поручается ответственная работа по установлению эталонов международных электрических единиц. С этих пор весь свой талант и силы А. Н. Георгиевский отдает Главной Палате мер и весов до самой своей смерти, уделяя преподавательской деятельности лишь немного времени.

В Главной Палате мер и весов А. Н. Георгиевский с июля 1914 г. становится старшим инспектором и вместе с тем руководителем электрического отделения Главной Палаты, а с января 1917 года — научным сотрудником.

После реформы Главной Палаты мер и весов в 1922 году, он назначается старшим метрологом и с сентября 1922 года заведующим термометрической лабораторией Метрологического Института. 7 января 1928 г. А. Н. Георгиевский был избран членом Коллегии Метрологического Института. Эти должности он занимал до самой своей смерти, работал, не щадя своего здоровья, заметно пошатнувшегося в начале 1928 года от осложения сердечной деятельности на почве гриппа. Сердечная болезнь увела его и в могилу.

Научная деятельность А. Н. Георгиевского в Главной Палате весьма разнообразна. Она началась его работой в Международном Бюро мер и весов в Севре, куда он был командирован в 1909 году с целью ознакомления с методами пригото-



А. Н. Георгиевский.

вления ртутных образцов международного ома под руководством директора Международного Бюро Р. Бенуа, который как раз в то время работал над изготовлением ртутных образцов для французского правительства. В Международном Бюро А. Н. Георгиевский особенно изучил дело исследования и проверки ртутных термометров. Все усвоенные им на практике Бюро методы и приемы были им введены в практику Главной Палаты. Важные и сложные методы калибровки термометров изложены им в обширной статье: „Калибровка капилляров“, напечатанной в 11-м выпуске „Временника Главной Палаты мер и весов“ и представляющей ценный вклад в нашу слабо развитую метрологическую литературу.

В Международном Бюро А. Н. Георгиевский начал также под непосредственным руководством Р. Бенуа работу по изготовлению шести ртутных образцов международного ома для России. Эта работа, в которой впоследствии присоединился М. Ф. Маликов, была закончена в 1913 году в Главной Палате и опубликована в 12-м выпуске „Временника Главной Палаты“, составляя все его содер-

жание. Ртутные образцы международного ома служат основным эталонным единицам сопротивления СССР и в настоящее время.

В 1911—14 гг. А. Н. Георгиевским производилась работа по изучению температурного коэффициента расширения платино-иридиевого эталона метра по интерференционному методу Физо. Многочисленные серии тщательно выполненных опытов над платино-иридиевыми образцами, отрезанными от обоих концов бруска X-образного сечения, послужившего для изготовления эталона метра, привели к заключению, что температурный коэффициент нашего эталона весьма мало отличается от коэффициента, найденного по тому же методу в Международном Бюро мер и весов для ряда эталонов, принадлежащих различным государствам. Эта работа, к сожалению, не была опубликована, вследствие неблагоприятных условий военного времени и первых лет революции.

С образованием в Главной Палате в 1924 г. временного Алкоголометрического Комитета, имевшего целью установить основы для реформы всеобщей алкоголометрии, А. Н. Георгиевский вошел в состав этого Комитета и принял в его работах самое деятельное участие. О работах этого Комитета неоднократно делались сообщения на конференциях и съездах, на которых упоминалось также и имя А. Н. Георгиевского. Уже после его смерти в 1929 г. в Журнале Прикладной Химии опубликована его статья: „Перечисление опытных данных Менделеева с введением поправок на международную водородную шкалу температур, приведением удельных весов к целым градусам и их исправлением на значение плотности воды по Шарриэ“. В завершенной реформе нашей алкоголометрии на новых основаниях А. Н. Георгиевскому принадлежит место в первых рядах крупных научных работников, вынесших на своих плечах тяжесть этой работы.



Кроме этих главнейших научно-исследовательских работ А. И. Георгиевским была выполнена, в течение двадцатилетней его работы в лабораториях Главной Палаты, длинная серия исследований как в области электрических измерений (сравнения нормальных элементов Вестона, изучение образцовых манганиновых катушек сопротивления и др.), так и в области точной термометрии (изучение эталонных термометров лаборатории, устройство термостата для низких температур, разработка методики поверки термометров и т. д.). В последние годы А. И. Георгиевский был занят разработкой установки газового термометра для возможно высоких температур.

Необходимо отметить еще, что свой богатый метрологический опыт А. И. Георгиевский пытался передать молодой смены научных работников путем чтения лекций в 1927—28 году на физико-механическом факультете Ленинградского Политехнического Института имени М. И. Калинина по составленному им и тщательно разработанному курсу «Измерительной техники». Смерть прервала развитие этого чрезвычайно интересного курса, но во всяком случае им положены его основы.

Смерть вообще рано прервала эту жизнь, еще много полезного она могла бы дать нашей стране, так небогатой научными силами, но уже того, что сделано А. И. Георгиевским, достаточно, чтобы оставить глубокий след в летописях нашей метрологии и вызвать глубокое чувство скорби от тяжелой утраты, понесенной русской наукой.

*М. Маликов.*

RÉSUMES DES ARTICLES PUBLIÉS DANS LA 3 (15) PARTIE DE  
WRÉMENNIK (ANNALES) DE LA CHAMBRE CENTRALE DES  
POIDS ET MESURES.

I. D. Mendelév. Analyse de la méthode du miroir, applications à la balance (p.p. 3-16).

1. Soit  $\beta$  la mesure d'un changement physique (déplacement, rotation, changement de température, de pression etc.),  $\alpha$ —le déplacement angulaire correspondant dans notre champ de vision du repère que nous observons directement dans le système d'instruments employé pour l'observation de ce changement physique. Nous appelons sensibilité optique ( $N$ ) du système le rapport  $\frac{\alpha}{\beta}$  (formule 1). Plus généralement, si  $y$  est la position angulaire du repère dans notre champ de vision correspondant à une valeur  $x$  de la grandeur physique mesurée, la sensibilité optique du système sera donnée par la dérivée  $\frac{dy}{dx}$ . Toutes choses égales, la précision de la mesure du changement physique sera en raison directe à la sensibilité optique du système employé. Ces considérations permettent de faire une analyse des conditions les plus favorables pour le dispositif de la méthode du miroir.

2. Méthode „subjective“. Soit (fig. 1)  $M$ —le miroir,  $BB_1$ —l'échelle,  $A$ —la lunette,  $l$  et  $l_1$ —les distances du miroir à la lunette et à l'échelle,  $\beta$ —l'angle de rotation du miroir,  $\alpha_1$  et  $\alpha$ —les angles du déplacement apparent correspondant de l'échelle vue respectivement du centre de l'objectif de la lunette et par l'oculaire de la lunette,  $n$ —l'agrandissement de la lunette. Un raisonnement simple, facile à suivre par les formules du texte, donne pour expression de la sensibilité optique  $N$  du dispositif la formule (2), de laquelle il suit que: 1) si  $l = l_1$  (dispositif usuel), nous aurons constamment  $N = n$ . L'accroissement de la distance du miroir à l'échelle n'augmente donc en rien la sensibilité optique du système. 2) si  $l = 0$ ,  $N = 2n$ ; donc, si l'objectif de la lunette est tout près du miroir, la sensibilité optique du système double par rapport au cas précédent, indépendamment de la distance de l'échelle au miroir; 3) si  $l_1 = \infty$ ,  $N = 2n$ ; nous avons donc la même sensibilité optique que dans le cas précédent indépendamment de la distance de la lunette au miroir; 4) en général, plus le quotient  $\frac{l}{l_1}$  est petit, plus est grande la sensibilité optique du dispositif, restant d'ailleurs toujours inférieure à  $2n$ .

3. Le dispositif proposé par M. L. Geiger (et par d'autres) de deux miroirs (fig. 2), l'un mobile ( $M$ ), l'autre immobile ( $M_1$ ), avec réflexion multiple augmentant la sensibilité optique du système  $2m\beta$  fois (où  $m$  est le nombre des réflexions des rayons au miroir mobile,  $\beta$ —son angle de rotation)—ce dispositif ne peut être employé que dans des cas très particuliers. Il ne donne donc point de solution universelle pour le problème d'un accroissement arbitraire voulu de la sensibilité du système du miroir.

4. Cette solution s'obtient au moyen d'une analyse plus précise se rapportant au dispositif ordinaire (fig. 3). Soit  $l$  la distance de l'image réelle de l'échelle à l'objectif de la lunette,  $n'$ —la puissance de son oculaire,  $n$ —le grossissement effectif de la lunette,  $F$ —la distance focale de son objectif. Un raisonnement simple, facile à suivre par les formules du texte, donne pour expression de la sensibilité optique  $N$  du système la formule précise (7), où  $v = Fn'$  est le grossissement de la lunette à une distance infinie. La formule (7) montre que: 1) le dénominateur de la fraction (7) pouvant prendre, avec le changement de  $l$  et de  $\beta$ , toutes les valeurs de  $\infty$  à 0, la

sensibilité optique du système peut varier de 0 à  $\infty$ ; 2) la sensibilité devient infinie quand le dénominateur  $1 + \frac{l-F}{l_1}$  devient égale à 0, donc quand  $l + l_1 = F$ ; l'image réelle de l'échelle donnée par l'objectif de la lunette s'éloigne alors à l'infini; 3) quand la valeur de  $l + l_1$  s'approche à  $F$ , la sensibilité optique du système peut croître indéfiniment; 4) la valeur de  $l + l_1$  étant constante la sensibilité optique du système peut être augmentée en diminuant  $l$ , donc en approchant l'objectif de la lunette au miroir; 5) si  $l = 0$ , le système prenant le dispositif le plus avantageux, la formule (7) donne la formule (8); cette dernière montre que la sensibilité du système dans le cas envisagé croît, quand la distance du miroir à l'échelle diminue; par exemple, si  $l_1 = 2F$ , nous avons  $N = 4$ ; si  $l_1 = 1,5 F$ , nous avons  $N = 6$  et ainsi de suite.

Les limites de cet accroissement ne sont posées que par des facteurs secondaires—tels que: 1) les dimensions disponibles du laboratoire pour l'accroissement de la distance focale  $f$ , 2) l'intensité de l'éclairage de l'échelle et 3) le pouvoir optique de la lunette.

6. Pour construire un système le plus optiquement sensible il faut donc se conformer aux règles suivantes: 1) il faut rapprocher l'objectif de la lunette le plus possible du miroir; 2) il faut que la somme des distances  $l + l_1$  se rapproche le plus qu'il est pratiquement possible de la distance focale  $F$  de l'objectif de la lunette. J'appelle un pareil dispositif amplificateur d'oscillations du premier genre. J'ai adapté un tel amplificateur à une balance précise de Rueprecht du laboratoire des appareils de pesage de la Chambre Centrale. Avec un objectif de 81 mm de diamètre et une distance focale de 1200 mm disposé à une distance de 350 mm du miroir et de 1300 mm à l'échelle, le dispositif permet de distinguer les rotations du fléau de la balance jusqu'à la valeur d'une dixième de seconde angulaire (0',1). La méthode permet en outre de pousser pratiquement, s'il s'en faut, la précision au delà de cette limite.

6. Les formules (7) et (8) montrent que la sensibilité optique  $N$  ne dépend que des valeurs relatives de  $l$ ,  $l_1$ ,  $F$ ; on peut, en réduisant dans une même proportion ces valeurs, construire des amplificateurs de la même sensibilité, ce qui donne un moyen de passer des fortes lunettes à des installations microscopiques, dans nombre de cas plus avantageuses.

7. Méthode „objective“. Une analyse, pareille à la précédente, de la méthode dite objective (fig. 4) nous donne pour expression de sa sensibilité optique la formule (9), où  $l$  et  $\Delta$  sont les distances de l'échelle au miroir et à l'oeil de l'observateur. La sensibilité optique du dispositif avec l'accroissement de la distance  $l$  peut donc ici théoriquement croître indéfiniment, mais en employant des distances  $l$  énormes, ce qui pose une limite pratique serrée à la sensibilité de la méthode.

8. Les méthodes d'amplification des angles de rotation du miroir proposées par MM. L. Geiger, W. Möbius, M. F. Michaud, très utiles, ne donnent pas toutefois de solution universellement applicable.

9. Une telle solution s'obtient par le dispositif de la fig. 6, où une image réelle  $A_1 A_2$  de l'échelle  $BB_1$  donnée par l'objectif  $L$  est observée au moyen d'un oculaire  $A$ . Une analyse simple permet en outre de voir que le dispositif le plus avantageux s'obtient en approchant l'objectif  $L$  le plus possible du miroir (fig. 7, II). On peut aussi pour objectif prendre le miroir oscillant même, en lui donnant une forme concave (fig. 7, III). Ce dispositif est dit amplificateur d'oscillations du second genre.

10. Les amplificateurs d'oscillations peuvent avoir pour le progrès de la technique des pesages précis des applications utiles. Nous appelons sensibilité mécanique ( $\beta$ ) d'une balance—la relation de l'accroissement de l'angle d'inclinaison de son fléau à l'accroissement correspondant de la charge sur l'un de ses plateaux. Nous appelons sensibilité optique ( $N$ ) de la même balance la relation de l'accroissement de la déviation angulaire du repère observé dans le champ de notre vision, à l'aide du système optique adapté à la balance,—à l'accroissement correspondant de l'angle d'inclinaison de la balance. Nous appelons enfin sensibilité totale ou effective ( $\alpha$ ) de la balance la sensibilité optique de tout son système en bloc, donc—conformément à la définition générale de la sensibilité optique (§ 1)—la relation du déplacement du repère à la variation de la charge sur l'un des plateaux.

Il s'en suit que la sensibilité totale ( $\alpha$ ) de la balance est égale au produit  $N \cdot \beta$  de son sensibilité mécanique par son sensibilité optique (formule 11).

11. La formule (11) montre que pour la sensibilisation d'une balance deux voies se présentent: ou sa sensibilisation mécanique, ou sa sensibilisation optique. Des raisons graves ne permettant pas d'aller loin dans la voie de la sensibilisation mécanique, il reste la voie de la sensibilisation optique. C'est dans ce but que cette analyse de la méthode du miroir avait été entreprise.

**I. I. Kouznétzov.** Etablissement d'une série des aréomètres-étalons pour la densité au dessous d'unité (p.p. 17—28).

On trouve dans cet article la description de la méthode et les résultats d'étalonnage des aréomètres pour la densité dans les limites de 0,650 à 1,000. Ce travail se rapporte à la série des travaux entrepris par la Chambre Central des Poids et Mesures pour établir des normes aréométriques de différents types.

On a pris pour l'étalonnage deux complets identiques d'aréomètres fournis par la maison W. Klein, Berlin, embrassant l'échelle des densités de 0,650 à 1,000, avec subdivision minime de 0,0005. On a employé pour l'étalonnement la méthode de Borda de pesage hydrostatique. Le volume et le poids absolu de la flotte employée à ce but avaient été déduits comme la moyenne de 8 observations exécutées pendant divers saisons de l'année, c'est-à-dire à la température et à la pression atmosphérique différentes, étant pris en considération tous les facteurs ayant l'influence sur la précision du résultat. On a déterminé les corrections d'échelle des normes aréométriques directement pour chaque division chiffrée de l'échelle, c'est-à-dire par 0,01. En outre, on a exécuté une série d'observations de contrôle pour 10 points de l'échelle qui ont donné les résultats identiques avec ceux obtenus précédemment. Les corrections déduites de l'échelle des normes aréométriques ont été rapportées aux produits de naphte pour les densités 0,850—0,850, et aux solutions sulfuroéthyliques pour les densités 0,850—1,000.

**A. C. Kolossoff.** Élément normal Weston international (p.p. 29—107).

Il est nécessaire pour préparation correcte de l'élément normal Weston ayant une force électromotrice stable à la température et à la pression constantes, d'observer une série de conditions que l'auteur expose dans son ouvrage.

D'abord il donne la caractéristique de l'élément Weston de cadmium sans hydrate solide, qui—à parler rigoureusement, n'est pas un élément normal.

L'énergie chimique ne possédant aucun système indépendant d'unités de mesure ne peut être déterminée qu'après sa transformation en énergie électrique ou thermique. Après avoir déterminé par moyen calorimétrique la chaleur de la transformation chimique, ayant lieu dans l'élément normal, on obtient la valeur de l'énergie électrique. Dans l'exposé de cette question l'auteur se sert comme de base de l'ouvrage de M. H. v. Steinwehr de la Physikalisch-Technische Reichsanstalt.

Substances chimiques qu'on emploie pour la préparation des éléments normaux, doivent être d'une grande pureté. L'auteur y insiste particulièrement et donne la description détaillée des méthodes de préparation de diverses substances, admises par la Chambre Centrale des Poids et Mesures.

La distillation de l'eau se fait plusieurs fois, et la dernière fois dans un réservoir en platine dont la photographie est donnée dans le texte (fig. 2). On se sert comme critérium de la pureté d'eau de la valeur de sa conductibilité électrique.

Le mercure est raffiné par trois méthodes consécutives: la méthode de la raffinage d'anode et celles de la distillation sous pression diminuée et dans le vacuum. L'auteur a réussi à constater le peu de sûreté de la méthode de raffinage du mercure au moyen de filtration du mercure pulvérisé dans une couche d'acide et puis par la distillation dans le vacuum. Cependant on continue d'appliquer cette méthode aux certains laboratoires.

En préparant la solution saturée de sulfate de cadmium on peut constater que quoique  $\text{Cd SO}_4 \cdot \frac{8}{3} \text{H}_2\text{O}$  soit un sel facilement soluble, la vitesse de la solubilité est néanmoins excessivement lente exigeant pour la complète saturation de la solution la durée de temps assez longue et une température constante. Il est nécessaire de prendre en considération la température de la préparation de la solution saturée, puisque



$\text{Cd SO}_4 \cdot \frac{8}{3} \text{H}_2\text{O}$ , étant saturé à l'une température ne l'est pas à une autre quoique la solubilité varie peu avec la température.

Les recherches sur l'amalgame sont basées principalement sur les travaux de MM. H. C. Bijl, F. E. Smith et A. Schulze.

Le sulfate mercurieux, employé en qualité de dépolarisateur à l'élément normal Weston, est souvent la cause de l'anomalie de la force électromotrice. Un grand nombre de travaux est consacré à l'étude de ce sel, surtout ceux de MM. F. E. Smith et G. A. Hulett.

Dès 1923 jusqu'à 1928 on a préparé et examiné par différentes méthodes à la Chambre Centrale des Poids et Mesures 415 éléments normaux Weston. Dans les tables 6-15 sont données les forces électromotrices des éléments normaux que nous avons préparés. Il est d'intérêt de noter, que les éléments ayant une force électromotrice anormale à la suite d'une série de circonstances (hydrolyse de  $\text{Hg}_2\text{SO}_4$ , variation de dimensions de cristaux de  $\text{CdSO}_4 \cdot \frac{8}{3} \text{H}_2\text{O}$  libre) tendent à supprimer ces phénomènes anormaux et à s'approcher des éléments qui ont la force électromotrice normale (fig. 21).

Pour déterminer l'influence de pulvérisation des cristaux de  $\text{Hg}_2\text{SO}_4$ , plusieurs éléments furent préparés et étudiés. Dans le texte on peut voir des microphotographies et des courbes de la force électromotrice des éléments normaux au sel ordinaire et au sel pulvérisé.

D'après nos expériences on peut constater indubitablement que la pulvérisation des cristaux de  $\text{Hg}_2\text{SO}_4$  influe le degré de solubilité et la force électromotrice. D'abord la force électromotrice est très grande, puis les minces cristaux disparaissent, les dimensions des autres cristaux deviennent plus proches à la normale dimension et la valeur de la force électromotrice s'approche aussi de la valeur normale.

En exposant le sulfate mercurieux à l'oxydation dans le creuset Gooch, nous avons obtenu les forces électromotrices des éléments normaux, chargés de ce sel, plus grandes et assez stables.

Dans la table 16 on a donné les forces électromotrices de 10 groupes d'éléments normaux, préparés depuis l'avril 1926 jusqu'à l'avril 1928, d'après notre spécification (A. C. Kofossov, „Spécification pour l'exécution des éléments normaux Weston“. Annexe II.—Les étalons électriques et les étalons de lumière de l'Union des Républiques Soviétiques Socialistes. Léninegrad. 1928).

Pendant les dernières années le National Physical Laboratory à l'initiative de M. F. E. Smith, ajoute de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  libre aux éléments. Nous sommes en train d'étudier cette question.

Nous avons constaté le phénomène de la formation de la couche gazeuse sous l'amalgame dans la branche anodique de l'élément, quand on emploie la solution de  $\text{CdSO}_4$  acidifié de 0,1N  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Les fig. 23, 24 et 25 représentent les éléments normaux, auxquels il s'est formé la couche, qui rompt à peu près le circuit et rend l'élément insensible. De pareils phénomènes sont observés aussi bien aux éléments préparés par nous, qu'à ceux du National Physical Laboratory Nos 2133, 2194, 2141 et 2142 avec 0,1N  $\text{H}_2\text{SO}_4$  et mis à notre disposition (fig. 26).

Cependant les éléments où l'on a ajouté un peu d'acide (moins de 0,01 N) sont libres du susdit défaut.

Il est d'intérêt de noter que le réactif Congo n'est pas assez sensible pour les solutions  $\text{CdSO}_4$  contenant 0,004N  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , puisqu'il est difficile d'apercevoir la colorisation.

Il est nécessaire de préciser la concentration de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  admissible au électrolyte d'un élément et le moyen de détermination de la susdite concentration.

Les expériences ont mené l'auteur à la conclusion que les éléments normaux, préparés avec 0,004 N acide sulfurique, sont reproductibles aisément et effectuent la force électromotrice stable.

Les comparaisons de nos éléments avec les étalons de force électromotrice des divers laboratoires montrent qu'il y a lieu une certaine augmentation de la force électromotrice en moyenne de 10 microvolts (table 22 et fig. 27). On peut expliquer cette augmentation par le transvasage du mercure dans la branche cathodique de l'élément normal.

En effet, nous avons eu l'occurrence de nous convaincre du transport de deux éléments normaux au Laboratoire Central d'Electricité en novembre 1928, que la con-

struction des enveloppes d'éléments avec deux étranglements (fig. 28), qui empêchent le transvasage de mercure dans la branche, est très favorable à la stabilité de la force électromotrice durant le transport.

Les éléments normaux avec  $H_2SO_4$  libre ne produisent pas d'augmentation de la force électromotrice durant le transport. Les éléments de National Physical Laboratory № 2715 et 2718, mis à la disposition de la Chambre Centrale, n'ont manifesté aucun agrandissement de la force électromotrice pendant le transport de Teddington à Leningrad.

**C. S. Tchouraéva. Les groupes-étalons des éléments normaux Weston.** (pp. 108—122).

L'article contient des renseignements sur le groupe-étalon fondamental des éléments normaux Weston depuis 1925 jusqu'à 1928, dont les connaissances primordiales (du moment de la préparation des éléments en 1910 jusqu'à 1925) ont été données par M. M. F. Malikov dans son article intitulé: „Etalon du volt international“ (Wrémennik de la Chambre Central des Poids et Mesures part 1 (13) p.p. 130—156. 1925); ainsi que des renseignements sur les deux groupes-étalons nouveaux qui sont composés des éléments préparés au laboratoire des étalons électriques pendant les années 1926—1928.

Le groupe fondamental des éléments normaux Weston consiste de 20 éléments, dont les résultats des comparaisons faites par l'auteur pendant plusieurs années, sont donnés dans les tables I et II. De ces tables aussi bien que des fig. 1 et 2 on peut voir les changements qu'ont subis les éléments de ce groupe-étalon pendant 18 années de leur existence et malgré le régime peu favorable des années 1920—1923.

La courbe 1 de la fig. 1 caractérise l'état du premier groupe-étalon en 1910, c'est-à-dire l'année de la préparation des éléments, tandis que la courbe 2 de la même figure—l'état du groupe en 1928. De ces données on peut voir que l'élément № 19 a montré le maximum de la perte de la force électromotrice.

Pour la conservation des éléments de tous les groupes étalonnés on a construit un bain spécial de cuivre nickelé, représenté par la fig. 3.

En prévoyant l'imminence du remplacement du premier groupe-étalon par nouveaux étalons, il est composé en 1927 le second groupe-étalon des éléments normaux Weston, définitivement établi en août 1928; les résultats des comparaisons de tous les éléments de ce groupe en partie entrés définitivement dans le groupe en partie remplacés plus tard par d'autres éléments, faites par l'auteur, sont représentés à la table III et par les courbes des fig. 4 et 6; ces résultats sont exprimés en valeur du groupe fondamental. Les tables et les courbes donnent l'idée des variations de la force électromotrice des éléments plus considérables au premier période immédiatement après leur préparation, et négligeables ultérieurement. Les éléments №№ 151, 154, 195 et 225, dont la force électromotrice est diminuée, étant remplacés par les éléments №№ 294, 295, 297 et 298, l'état du groupe s'est amélioré.

La résistance intérieure des éléments du second groupe est mesurée d'après la méthode de Nernst (fig. 5).

Les comparaisons réciproques de deux groupes-étalons ont montré que la valeur moyenne du second groupe est de 89 microvolts supérieure à celle du premier groupe.

En but de l'établissement et du maintien du volt international le laboratoire des étalons électriques se propose d'établir encore quelques groupes-étalons.

Le troisième groupe-étalon est composé de 15 éléments Weston; les résultats des comparaisons préliminaires sont donnés à la table IV; la valeur moyenne de ce groupe est de 121 microvolts supérieure à celle du premier groupe.

La pratique des travaux ultérieurs dirigés à ce but nous montrera lesquels de moyens de compléter, conserver et maintenir un groupe-étalon du volt peuvent être estimés comme les meilleurs et introduits dans la spécification pour les éléments normaux Weston.

**M. F. Malikov et A. C. Kolossov. Les comparaisons internationales d'éléments normaux, faites en 1926 et 1927** (p.p. 123—134).

Les résultats des comparaisons d'éléments appartenant à divers laboratoires, faites par les soins de la Chambre Centrale des Poids et Mesures de l'URSS en 1925 et 1927, ont été publiés dans les Comptes-Rendus des Séances de la Septième

Conférence Générale des Poids et Mesures p.p. 122—126. Les données des comparaisons, en ce qui concerne les mesures effectuées au Laboratoire Central d'Électricité, doivent être modifiées par attribution à la série de base du Laboratoire Central d'Électricité non la valeur 1,0183 volts, mais la valeur 1,01835 volts à 20° C, conformément à une note de M. R. Jouaust, Sous-directeur du Laboratoire Central, adressée à M. Ch. E. Guillaume, Directeur du Bureau International des Poids et Mesures („Remarques sur les comparaisons internationales d'éléments normaux, faites par l'intermédiaire du Bureau Central de l'URSS"). Dans ces conditions la différence entre les mesures de la Chambre Centrale des Poids et Mesures et du Laboratoire Central d'Électricité doit être diminuée de 50 microvolts et le volt international de la Chambre Centrale est donc en réalité de 52 microvolts inférieur à celui du Laboratoire Central.

La question de l'unité de la force électromotrice (volt international), autant qu'elle est mise en évidence dans les résultats des comparaisons des éléments normaux, peut être resumée dans le tableau suivant.

	N. P. L.	P. I. R.	C. C.	B. of S.	L. C. E.
Volt du National Physical Laboratory (Angleterre) . . .	—	+61×10 <sup>-6</sup>	+63×10 <sup>-6</sup>	+7×10 <sup>-6</sup>	+11×10 <sup>-6</sup>
Volt de la Physikalisch-Technische Reichsanstalt (Allemagne) . . . . .	-61×10 <sup>-6</sup>	—	+2	-54	-50
Volt de la Chambre Centrale des Poids et Mesures (URSS) . . . . .	-61	-2	—	-56	-52
Volt du Bureau of Standards (USA) . . . . .	-7	+54	+56	—	+4
Volt du Laboratoire Central d'Électricité (France) . . . . .	-11	+50	+52	-4	—

Les différences portées au tableau n'excèdent pas la limite de certitude (0,0001) avec laquelle nous connaissons la valeur du volt international; pourtant elle excède les limites de la précision avec laquelle on prépare les éléments normaux, et qui peut être évaluée à 20 microvolts environ.

La stabilité des éléments Weston, pendant le transport, peut être considérée comme assez bonne. Le changement dans leur force électromotrice, sous l'influence des conditions de transport, est de l'ordre de 30 microvolts. Ce nombre peut être réduit à une valeur du même ordre que la précision de la préparation des éléments normaux, si l'on accroît les précautions pendant le transport.

**M. F. Malikov. Résultats des comparaisons d'éléments normaux, faites à la Chambre Centrale des Poids et Mesures de l'URSS et au Laboratoire Central d'Électricité en 1928 (p.p. 135—136).**

Les comparaisons d'éléments appartenant à divers laboratoires, faites en 1926 et 1927 par les soins de la Chambre Centrale des Poids et Mesures de l'URSS, en ce qui concerne les mesures effectuées au Laboratoire Central d'Électricité, n'étant pas aussi complètes que celles effectuées aux autres laboratoires, il était très désirable de faire des nouvelles comparaisons à ce Laboratoire.

Le 8 novembre 1928 M. M. Malikov, partant pour Paris, a pris avec lui, pour les transporter à la main, les deux éléments Weston N.º 129-I (360) et 129-II (374) préparés en octobre 1928 d'après la spécification publiée dans la brochure de la Chambre Centrale N.º 60: „Les étalons électriques et les étalons de lumière de l'URSS". 1928, pp. 28—31 (A. C. Kolossoff—Spécifications pour l'exécution des éléments normaux Weston). Ils sont parvenus au Laboratoire Central d'Électricité, où ils furent comparés par M. R. Jouaust avec les éléments de base, entre le 26 et le 28 novembre. Le 10 décembre M. M. Malikov les rapporta à la Chambre Centrale.

Leur comparaison avec l'étalon du volt international de la Chambre Centrale, avant leur départ et après leur retour, a donné les résultats suivants.

Éléments	Force électromotrice à 20° C en volts internationaux			
	Avant le départ (5 nov. 1925)	Après le retour (15 dec. 1928)	Moyenne	$\Delta$
N° 129-I (366)	1,01841 <sub>2</sub>	1,01841 <sub>1</sub>	1,01841 <sub>2</sub>	$-4 \times 10^{-6}$
N° 129-II (374)	1,01841 <sub>1</sub>	1,01840 <sub>2</sub>	1,01841 <sub>2</sub>	$-2 \times 10^{-6}$
Moyennes	1,01841 <sub>2</sub>	1,01841 <sub>2</sub>	1,01841 <sub>2</sub>	$-3 \times 10^{-6}$

Les variations dont le montant est porté dans la dernière colonne sont tout à fait négligeables, c'est-à-dire les valeurs des éléments pratiquement ne sont pas changées pendant le transport.

Les comparaisons ultérieures des éléments faites le 12 janvier et le 28 février 1929 ont montré leur stabilité parfaite, comme on voit ci-après.

Éléments	Force électromotrice à 20° C en volts internationaux		
	15 décembre 1928	12 janvier 1929	28 février 1929
N° 129-I (366)	1,01841 <sub>1</sub>	1,01841 <sub>1</sub>	1,01841 <sub>2</sub>
N° 129-II (374)	1,01840 <sub>2</sub>	1,01841 <sub>2</sub>	1,01841 <sub>2</sub>

Les résultats des comparaisons faites au Laboratoire Central d'Électricité et à la Chambre Centrale des Poids et Mesures mis en parallèle sont les suivants.

Éléments	Force électromotrice à 20° C en volts internationaux		
	Laboratoire Central	Chambre Centrale	$\Delta$ Ch. C.—L. C.
N° 129-I (366)	1,01837	1,01841 <sub>2</sub>	$+48 \times 10^{-6}$
N° 129-II (374)	1,01836	1,01841 <sub>2</sub>	$+50 \times 10^{-6}$
Moyennes	1,01836 <sub>2</sub>	1,01841 <sub>2</sub>	$+47 \times 10^{-6}$

Ici à la base du Laboratoire Central d'Électricité est attribuée la valeur 1,01835 à 20° C. On voit que le volt international de la Chambre Centrale est de  $47 \times 10^{-6}$  inférieur à celui du Laboratoire Central d'Électricité.

Les résultats des comparaisons faites en 1926 ont donné la relation suivante (en attribuant à la base du Laboratoire Central la même valeur 1,01835 à 20° C):

$$\text{(Volt intern. de la Chambre Centrale)} - \text{(volt intern. du Laboratoire Centrale)} = -52 \times 10^{-6}$$

La différence de +5 microvolts entre les comparaisons de 1928 et 1926 étant dans les limites des erreurs d'observation, on peut croire que la concordance est excellente.



**M. V. Malikov.** Un nouveau modèle d'éléments normaux Weston (p.p. 137—141).

La description de ce nouveau modèle d'éléments Weston, proposé par l'auteur déjà en 1924, a été publiée dans une publication: „Comité Consultatif d'Electricité. Rapport, procès-verbaux des séances de 1928 et annexes“, p.p. 111—117.

La figure 1 reproduit la disposition de l'élément normal du nouveau modèle; la figure 2 est la photographie de deux enveloppes de verre, à gauche est un des premiers modèles, à droite est le modèle définitif dont le schéma est représenté par la figure 1. Les photographies des figures 3 et 4 représentent un étui et une attache pour la nouvelle forme des éléments. Le poids total de l'élément en étui est d'environ 260 g. A droite sur la figure 4 on voit le modèle usuel de forme en H dans un étui métallique (le poids de ce dernier modèle est d'environ 650 g). A gauche sur la figure 4 et sur la figure 5 est représenté un étui spécial, servant à fixer l'élément au potentiomètre ou à un appareil de mesure quelconque. Le couvercle de cet étui est muni de bornes à couteau. On voit aussi que l'étui est muni d'un thermomètre courbé.

Les avantages du nouveau modèle font espérer qu'il sera admis pour les étalons à transporter.

**P. M. Tikhodéev.** Les étalons témoins de lumière C-I, et C-II, l'étalon secondaire II-2 et leur comparaison avec l'étalon fondamental de lumière de l'URSS (p.p. 142—168)

L'étalon fondamental de lumière de l'URSS qui fut établi en 1925 fut allumé de nouveau au mois d'août de 1927 pour faire comparaison avec lui des étalons-témoins C-I, et C-II et d'un étalon secondaire II-2. Les étalons-témoins ont été établis aux fins d'assurer la meilleure conservation de l'étalon fondamental.

Les mesures photométriques et électriques des lampes de l'étalon fondamental ont donné les résultats suivants. Les variations des valeurs de l'intensité de lumière de chaque lampe déterminées en 1927 et en 1925, se trouvent dans les limites de  $\pm 0,19\%$  en moyenne. La précision de la reproduction de la bougie internationale par une lampe de l'étalon fondamental est égale à  $\pm 0,2\%$  avec erreur probable de  $\pm 0,1\%$ , et par l'étalon tout entier était de  $\pm 0,04\%$ , c'est-à-dire de même ordre, que celle de 1925. Quant à l'intensité du courant, la différence dans les mesures de 1925 et de celles de 1927, pour chaque lampe est de  $\pm 0,03\%$  en moyenne; et pour tout l'étalon  $0,01\%$  en moyenne. Tous les indices montrent que l'étalon fondamental pour la période de 1925 à 1927 n'a subi aucun changement.

L'étalon-témoin N° 1 (C-I), en nombre de 15 lampes, fut comparé auparavant avec l'étalon de la bougie internationale du National Physical Laboratory. L'étalon-témoin N° 2 (C-II), en nombre de 12 lampes, fut comparé avec le pareil étalon du Bureau of Standards (USA). L'étalon fondamental avait été aussi comparé avec l'étalon du N. P. L. La valeur russe de la bougie internationale diffère de l'anglaise, d'après les mesures de 1927, de  $0,4\%$  dans les lampes de l'étalon fondamental et de  $0,3\%$  dans celles de l'étalon-témoin N° 1.

Ainsi la valeur anglaise de la bougie internationale obtenue d'après un groupe des lampes en 1925 ne diffère de la valeur obtenue en 1927 d'après un autre groupe des lampes que de  $0,04\%$ .

L'étalon-témoin N° 2 se compose de six lampes à filament de tungstène et de six lampes à filament de carbone. La valeur américaine de la bougie internationale, reproduite par les lampes à filament de tungstène, diffère de la russe de  $0,1\%$ , et celle reproduite par les lampes à filament de carbone de  $0,6\%$ . En moyenne, la valeur américaine de la bougie internationale est de  $0,2\%$  inférieure à la russe.

Chaque lampe de l'étalon secondaire reproduit la bougie internationale avec la précision de  $\pm 0,1\%$ , avec l'erreur probable de  $\pm 0,1\%$ , et l'étalon entier—avec la précision de  $\pm 0,06\%$ , l'erreur probable étant de  $\pm 0,04\%$ .

L'auteur expose quelques considérations sur la conservation de l'étalon fondamental de lumière. Il est supposé d'y ajouter des lampes électriques construites par la Chambre Centrale, qui doivent être préalablement étudiées à fond. Dorénavant la conservation est assurée par établissement des étalons-témoins composés par une assez grande quantité des lampes de diverse provenance.

Pendant l'étude on introduit quelques modifications au photomètre de contraste de Lummer et Brodhun. La lumière réfléchié par l'écran du photomètre de la côté de la lampe à mesurer à la direction de l'oeil passe immédiatement par les prismes, évitant le miroir qu'on utilise ordinairement; on prévient par cela l'influence de réflexion sélective du dernier. Le contraste au champ du photomètre est inverse à celui qui est employé habituellement: les trapèzes sont plus clairs que le champ qui les entoure. Une telle disposition du contraste est un peu plus favorable. L'écran fut préparé avec de la poudre pressée de baryum sulfate.

Quoique ce dernier n'est pas de blancheur idéale, il est néanmoins plus sûre que des autres pigments blancs en ce qui concerne la constance et certitude de ses propriétés réfléchives. Comme il est démontré par les recherches de Mme E. D. Dév'iatkova, l'erreur de modification du spectre par le baryum sulfate, pendant la comparaison des lampes à filament de tungstène et de carbone, est tout à fait insignifiante (près de 0,2%).

Pendant la comparaison simultanée du grand nombre de lampes, comme il est le cas du travail donné, il faut choisir de telles lampes de comparaison (on en a prises deux), qui soient d'une constance sûre de leur propriétés lumineuses. A ce but on a employé les lampes qui ont servi près de 15% de durée de leur service. Les recherches ont montré qu'on peut y choisir l'intensité inférieur à la normale, à laquelle l'intensité du courant ne change pas visiblement assez longtemps et l'on peut espérer que l'intensité de lumière soit aussi constante. Les variations de l'intensité de lumière des lampes de comparaison ont été computées par les mesures répétées de l'intensité lumineuse de 10 lampes: au commencement et à la fin du travail; elles ont été apparues assez insignifiantes, mais en tous cas on les a pris en considération

**P. M. Tikhodéev.** Etablissement des étalons témoins de lumière C-I<sub>1</sub> et C-III (p.p. 169—182).

Le présent travail n'est que le développement ultérieur de l'oeuvre consacrée à la conservation de l'étalon de lumière fondamental de l'URSS et à la comparaison de la valeur de la bougie internationale de l'URSS avec celle des autres pays.

L'étalon-témoin C-I<sub>2</sub>, en nombre de 15 lampes, fut comparé auparavant à l'étalon de la bougie internationale du National Physical Laboratory et l'étalon-témoin C-III, en nombre de 18 lampes, au celui du Laboratoire Central d'Electricité.

La valeur russe de la bougie internationale diffère de l'anglaise reproduite par le groupe de lampes C-I<sub>1</sub> de +0,3%, tandis que la différence pour le groupe de lampes C-I<sub>2</sub> fut +0,4%. L'écart de -0,1% entre deux valeurs anglaises de la bougie internationale trouvée pour les groupes C-I<sub>1</sub> et C-I<sub>2</sub> s'explique probablement par le fait que la couleur de la lumière des lampes de ces groupes est différente  $\left(1,44 \frac{\text{watt}}{\text{1 bougie int.}}\right)$  et  $1,23 \frac{\text{watt}}{\text{1 bougie int.}}$ , et on estime cette différence diversement à la Chambre Centrale des Poids et Mesures et au National Physical Laboratory.

Les lampes appartenant au groupe C-III pendant le transport en l'URSS ont subi de chocs considérables. Par conséquent leurs indications ont moins de certitude. Parmi les lampes de ce groupe se trouvent 10 lampes à filament de carbone. La valeur française de la bougie internationale reproduite par ces lampes diffère de la russe de +2,0%, mais le nombre d'observateurs du laboratoire photométrique de la Chambre Centrale des Poids et Mesures n'était pas suffisant pour que ce chiffre pût être regardé comme définitif. Les autres huit lampes à filament de tungstène reproduisent la valeur française de la bougie internationale qui diffère de la valeur russe de +1,01% et de la valeur française, reproduite par le groupe français de l'étalon fondamental de l'URSS, de +0,5%. Quoique le dernier chiffre dépasse les limites désirés, il est néanmoins du même ordre de la précision, avec laquelle est connue la valeur française de la bougie internationale à la Chambre Centrale, c'est-à-dire +0,4%.

En même temps on étudiait la question sur l'influence des chocs sur l'intensité du courant. La secousse d'une lampe à l'état froid influence le courant en degré beaucoup moindre que de la lampe brûlante. L'influence est autant plus forte que le fil est plus faiblement affermi aux crochets. Une petite secousse d'une lampe brûlante

de groupe C-1<sub>0</sub> a changé intensité du courant à  $-0,01\%$  de l'intensité initiale. D'où l'on peut voir l'ordre de la stabilité possible de l'intensité du courant aux applications répétées des lampes.

La méthode de la recherche de l'égalité lumineuse employée par le laboratoire photométrique aux travaux antérieurs consistait dans la recherche de ses limites déterminées sans déplacer le photomètre aux endroits où il n'y a pas d'égalité. Dans le présent travail ordinairement après 6 lectures le photomètre était déplacé à côté en dehors des limites de l'égalité et puis on recherchait ces limites en ajustant le photomètre à nouveau. Ainsi on répéta le procédé trois ou quatre fois. En général on a trouvé que cet dernier procédé est moins favorable que le précédent au point de vue de la précision de mesure et de la perte de temps.

**P. M. Tikhodéev. Comparaison des unités d'intensité de lumière et de flux lumineux de l'URSS avec ceux de l'Allemagne et de la France (p.p. 183—188).**

On n'a pas réalisé jusqu'au dernier moment la comparaison des unités d'intensité de lumière et de flux lumineux de l'URSS et de l'Allemagne. De même la comparaison des unités de flux lumineux de l'URSS et de la France. Quant à la comparaison des unités d'intensité lumineuse de l'URSS et de la France, elle eut lieu auparavant<sup>1)</sup>. Cependant il fallait la préciser, puisqu'un groupe de lampes étalonnées reproduisant la valeur française de la bougie internationale (troisième étalon-témoin C-III<sub>0</sub>) a subi des chocs considérables pendant le transport de la France en l'URSS et ses indications devinrent moins certaines.

Au but de réaliser toutes ces comparaisons la Chambre Centrale des Poids et Mesures de l'URSS à la fin de l'année 1928 a fait expédier d'abord en Allemagne et puis en France deux groupes de lampes électriques à l'incandescence. Le premier groupe de 8 lampes à vide à filament de tungstène composant une partie du troisième étalon-témoin (avec les marques de C-III-11 à C-III-18) fut comparé à l'étalon fondamental de la bougie internationale de l'URSS au mois de janvier 1928. L'autre groupe de 6 lampes à vide à filament de tungstène composant l'un des étalons-témoins de lumen (avec les marques de IIБ-2-1 à IIБ-2-6) fut comparé à l'étalon primaire de lumen de l'URSS au mois de juillet 1928.

Pour les comparaisons internationales liées avec le transport à grandes distances, il serait préférable d'utiliser les lampes d'une construction de la Chambre Centrale mécaniquement plus solides et moins sujettes aux chocs mécaniques. Cependant la provision de pareilles lampes n'était pas suffisante à ce moment.

Le second groupe de lampes IIБ-2 a un peu faible tension du filament attaché peu solidement aux crochets. Grâce à cela ces lampes sont assurées moins que celles du premier groupe contre petits déplacements du filament, ce qui peut influencer d'une manière perceptible la constance de propriétés lumineuses.

Pour assurer les conditions les plus favorables du transport l'autour devait transporter les lampes à main. Elles étaient toujours sous sa surveillance et ne subissaient d'aucuns chocs exceptés des chocs inévitables de chemin de fer. L'emballage des lampes (épaisses couches d'ouate) les préservait des conséquences des chocs et coups brusques, aussi bien que du changement soudain de la température<sup>2)</sup>. Néanmoins une des lampes a subi la détérioration mécanique (quand elle n'était pas sous notre surveillance) et n'a pu participer que dans la moitié des expériences.

Il est tout évident qu'il serait préférable d'augmenter le nombre de lampes pour la comparaison, cependant ce nombre était limité par les conditions de transport.

À la fin du novembre et au commencement du décembre 1928 on a fait des comparaisons des lampes à la Physikalisch-Technische Reichsanstalt et le 22 décembre au Laboratoire Central d'Électricité. Pour contrôler la stabilité des lampes on les a soumis de nouveau aux comparaisons au laboratoire photométrique de la Chambre Centrale des Poids et Mesures le 29 janvier 1929 et puis pour le groupe reproduisant le lumen les comparaisons furent répétées le 14 février. On a fait double com-

<sup>1)</sup> Voir P. M. Tikhodéev. „Étalon de lumière de l'URSS“, dans la brochure de la Chambre Centrale: „Étalons électriques et étalons de lumière de l'URSS“ N° 00, 1928.

<sup>2)</sup> Il ne faut pas exposer les lampes à congélation et à rosée.

paraison des lampes C-III-15 et C-III-18, parce qu'à la première comparaison l'intensité de courant a manifesté de sensibles déviations des résultats de 1928. Le groupe des lampes ПБ-2 a manifesté une certaine variation du flux lumineux et fut comparé de nouveau. On a comparé le groupe des lampes C-III, aux lampes C-I de numéro 11 à 15 aussi qu'aux lampes C-I-29 et C-I-30, et le groupe ПБ-2—aux lampes de l'étalon primaire du lumen de П-1-6 à П-1-11, c'est-à-dire les lampes furent comparées aux mêmes étalons qu'avant leur départ en Allemagne et en France<sup>1)</sup>. Pendant l'intervalle entre deux comparaisons ces étalons C-I et П-1 restant en l'URSS étaient conservés en repos sans usage<sup>2)</sup>.

Les résultats des comparaisons sont donnés dans les tables I et II.

Les lampes C-III-19 et C-III-21 furent aimablement mises à la disposition de la Chambre Centrale par le Laboratoire Central d'Electricité et ne prirent part qu'à une partie de comparaisons.

Les résultats des comparaisons finales des lampes du groupe C-III, démontrent que les lampes ne subirent aucun changement ou sont changées dans les limites de la précision des mesures photométriques. La lampe C-III-18 a montré des variations plus sensibles que les autres lampes dans l'intensité de lumière et de courant, la lampe C-III-15 seulement de courant. Mais si l'on ne prend pas en considération les données de la première lampe, cela n'influence les résultats définitifs que d'une manière insignifiante.

Quant au groupe ПБ-2 les résultats de leurs comparaisons laissent à supposer que les lampes ont subi des changements insignifiants. Néanmoins la variation reçue  $-0,2\%$  se trouve à peu près dans les limites de la précision bornée, comme il est indiqué plus haut, de moindre stabilité des propriétés lumineuses de ces lampes. Il faudrait aussi remarquer que les mesures répétées de ces lampes à la Chambre Centrale des Poids et Mesures furent exécutées sans que les lampes fussent soudées aux fils (comme cela eut place aux mesures précédentes) pour qu'on pût s'approcher aux conditions des mesures à Physikalisch-Technische Reichsanstalt et au Laboratoire Central d'Electricité où la soudure ne s'emploie pas. Sans doute, il serait plus prudent de tenir compte de variations trouvées de l'intensité de lumière et du flux lumineux de deux groupes et pour détermination de la relation des unités de prendre la valeur moyenne des premières et dernières mesures exécutées à la Chambre Centrale.

Comme on peut voir, la relation entre les unités de l'intensité de lumière et de flux lumineux de l'URSS, de la France et de l'Allemagne fut trouvée par les présentes comparaisons avec la précision de  $\pm 0,1\%$  environ pour la bougie internationale et de  $\pm 0,1\%$  pour le lumen; une telle précision est tout à fait satisfaisante à l'état actuel des mesures photométriques internationales.

La valeur française de la bougie internationale trouvée d'après les lampes C-III, diffère de celle trouvée auparavant d'après le groupe français des lampes de l'étalon fondamental de 0,5% environ. On peut constater aussi la différence entre les mesures de ces lampes faites maintenant au Laboratoire Central d'Electricité et ceux de 1927. Cependant M. R. Jouaust, Sous-directeur du Laboratoire Central d'Electricité croit que les mesures du 1928 sont les plus sûres: elles sont liées immédiatement avec l'étalon fondamental de lumière de la France<sup>3)</sup>; les mesures précédentes pourraient être estimées comme ayant moins de précision.

L'une des causes possibles de la différence considérable entre les lumens de l'URSS et de la France M. R. Jouaust laisse à voir en ce que l'étalon fondamental du lumen français est composé des lampes à atmosphère gazeuse; si l'on passe de ces lampes aux lampes à vide, la différence du spectre et de la sensibilité individuelle des observateurs peuvent donner lieu à la différence des observations faites par ceux-ci. Le lumen de la France, reproduit par les lampes à atmosphère gazeuse, est très proche aux lumens des Etats-Unis d'Amérique et de l'Angleterre; cependant aux comparaisons des lampes à vide le lumen de la France diffère à peu près autant qu'il diffère du lumen de l'URSS.

<sup>1)</sup> Voir les articles de P. M. Tikhodéev: 1) Sur établissement d'étalons témoins de la bougie internationale de l'URSS (Vremennik № 3 (15) et 2) Sur l'établissement d'étalon du lumen de l'URSS (en préparation).

<sup>2)</sup> On a constaté leur stabilité par les moyens usuels.

<sup>3)</sup> Notamment, avec 11 lampes à filament de carbone de base de 20 lampes.



Table I.  
Les valeurs de la bougie internationale de l'URSS et de la France et de la bougie de Hefner de l'Allemagne.

Designation des lampes	Intensité de ju- mères bougies internationales (1929 <sup>1)</sup> )	Tension au socle de la lampe; volts	Intensité de cou- rant; ampères 1929	Consommation spécifique; watts par 1 boug. int. 1929	Relation entre les unités d'intensité de lumière				Relation entre les intensités de courant				Remarques
					C. C. 1928	P. T. R. 1928	L. C. E. 1928	C. C. 1929	C. C. 1928	P. T. R. 1928	L. C. E. 1928	C. C. 1929	
C-III-11	51,2 <sub>6</sub>	107,00 <sub>6</sub>	0,6425 <sub>4</sub>	1,000 <sub>6</sub>	0,886 <sub>4</sub>	1,001 <sub>1</sub>	1,000 <sub>6</sub>	1,0000	0,9998	0,999 <sub>6</sub>	1,0000	1,0000	<sup>1)</sup> D'après les données de la Chambre Cen- trale 1929  <sup>2)</sup> Chambre Centrale des Poids et Mesures.  <sup>3)</sup> Physikalisch-Techni- sche Reichsanstalt.  <sup>4)</sup> Laboratoire Central d'Electricité.  <sup>5)</sup> Corrigé pour les variations de l'inten- sité de lumière et de l'intensité de courant, c'est-à-dire rapporté à la moyenne arithmétique des mesures faites à la Chambre Centrale en 1928 et 1929.  <sup>6)</sup> D'après les données de la Chambre Centrale 1928.
C-III-12	50,4 <sub>9</sub>	107,00 <sub>6</sub>	0,6429 <sub>4</sub>	1,000 <sub>6</sub>	0,880 <sub>5</sub>	0,998 <sub>1</sub>	0,998 <sub>6</sub>	1,0000	0,9997	0,998 <sub>6</sub>	0,9998	0,9998	
C-III-13	49,5 <sub>5</sub>	106,50 <sub>6</sub>	0,6387 <sub>5</sub>	1,000 <sub>6</sub>	0,883 <sub>1</sub>	0,996 <sub>4</sub>	0,998 <sub>6</sub>	1,0000	1,0001	1,000 <sub>6</sub>	1,0000	0,9997	
C-III-14	51,0 <sub>5</sub>	107,50 <sub>6</sub>	0,6420 <sub>6</sub>	1,000 <sub>6</sub>	0,878 <sub>6</sub>	0,996 <sub>6</sub>	0,997 <sub>6</sub>	1,0000	0,9999	0,998 <sub>4</sub>	1,0000	1,0000	
C-III-15	20,1 <sub>1</sub>	105,50 <sub>6</sub>	0,2833 <sub>6</sub>	1,000 <sub>6</sub>	0,876 <sub>4</sub>	1,003 <sub>7</sub>	1,002 <sub>4</sub>	1,0000	0,9996	1,000 <sub>6</sub>	0,9984	0,9984	
C-III-16	(20,1) <sup>6)</sup>	(105,70) <sup>6)</sup>	(0,2840) <sup>6)</sup>	1,49 <sup>6)</sup>	0,873 <sub>6</sub>	—	—	1,0000	0,9988	—	—	—	
C-III-17	20,4 <sub>7</sub>	106,70 <sub>6</sub>	0,2840 <sub>4</sub>	1,48	0,876 <sub>5</sub>	1,001 <sub>2</sub>	0,998 <sub>4</sub>	1,0000	0,9998	0,999 <sub>2</sub>	0,9993	0,9993	
C-III-18	19,9 <sub>6</sub>	105,30 <sub>6</sub>	0,2835 <sub>6</sub>	1,40	0,874 <sub>6</sub>	0,998 <sub>2</sub>	1,010 <sub>1</sub>	1,0000	0,9991	1,000 <sub>1</sub>	0,9990	0,9990	
C-III-19	20,1 <sub>4</sub>	102,50 <sub>6</sub>	0,3298 <sub>6</sub>	1,63	—	(0,9981)	1,000 <sub>6</sub>	—	—	(1,0000)	(1,0000)	(1,0000)	
C-III-20	20,2 <sub>4</sub>	102,50 <sub>6</sub>	0,3222 <sub>2</sub>	1,63	—	(1,0072)	1,000 <sub>6</sub>	—	—	0,999 <sub>3</sub>	(1,0000)	(1,0000)	
C-III-21	20,1 <sub>9</sub>	102,70 <sub>6</sub>	0,3214 <sub>2</sub>	1,64	—	(0,9991)	1,000 <sub>6</sub>	—	—	(0,998 <sub>7</sub> )	(1,0000)	(1,0000)	
1. Moyennes . . . . .					1,000 <sub>6</sub>	0,879 <sub>2</sub>	0,999 <sub>6</sub>	1,000 <sub>6</sub>	0,9996	0,999 <sub>6</sub>	0,9995	0,9995	
2. Moyennes corrigées . . . . .					1,000 <sub>4</sub>	0,878 <sub>6</sub>	0,999 <sub>4</sub>	1,000 <sub>4</sub>	0,9998	0,999 <sub>6</sub>	0,9998	0,9998	
3. Moyennes corrigées sans compter la lampe C-III-18 . . . . .					0,999 <sub>7</sub>	0,880 <sub>2</sub>	1,000 <sub>6</sub>	0,999 <sub>7</sub>	0,9998	0,999 <sub>6</sub>	0,9998	0,9998	
4. Moyennes corrigées les lampes 18, 19, 20 et 21 incluses . . . . .					1,000 <sub>3</sub>	—	0,999 <sub>3</sub>	1,000 <sub>3</sub>	—	0,999 <sub>3</sub>	0,9998	0,9998	

Table II  
Les valeurs du lumen de l'URSS, de la France et de l'Allemagne.

Designation des lampes	Flux lumineux; lumens 1929	Tension; volts	Intensité de courant; ampères (1929 <sup>1)</sup> )	Facteur d'efficacité; lumens par watt 1929	Relation entre les unités du flux lumineux				Relation entre les intensités de courant				Remarques
					C. C. <sup>2)</sup> 1928	P. T. R. <sup>3)</sup> 1928	L. C. F. <sup>4)</sup> 1928	C. C. <sup>2)</sup> 1928	C. C. 1928	P. T. R. <sup>3)</sup> 1928	L. C. F. <sup>4)</sup> 1928	C. C. 1929	
ПБ-2-1	408 <sup>h</sup>	107,00 <sub>0</sub>	0,5001 <sub>4</sub>	7,6 <sub>5</sub>	1,000 <sub>0</sub>	0,874 <sub>4</sub>	0,917 <sub>7</sub>	1,001 <sub>2</sub>	1,0000	0,9991	0,997 <sub>2</sub>	0,9995	1) D'après les données de la Chambre Centrale 1929.
ПБ-2-2	407 <sub>h</sub>	107,00 <sub>0</sub>	0,4996 <sub>7</sub>	7,6 <sub>5</sub>	1,000 <sub>0</sub>	0,876 <sub>7</sub>	0,920 <sub>8</sub>	1,005 <sub>2</sub>	1,0000	1,0001	0,998 <sub>5</sub>	0,9994	2) Chambre Centrale des Poids et Mesures.
ПБ-2-3	405 <sub>0</sub>	107,00 <sub>0</sub>	0,4985 <sub>3</sub>	7,6 <sub>0</sub>	1,000 <sub>0</sub>	0,874 <sub>7</sub>	0,928 <sub>5</sub>	1,005 <sub>2</sub>	1,0000	1,0003	0,998 <sub>5</sub>	0,9998	3) Physikalisch-Technische Reichsanstalt.
ПБ-2-4	409 <sub>8</sub>	107,00 <sub>0</sub>	0,4982 <sub>5</sub>	7,6 <sub>5</sub>	1,000 <sub>0</sub>	0,877 <sub>0</sub>	0,919 <sub>8</sub>	1,007 <sub>5</sub>	1,0000	1,0001	0,998 <sub>5</sub>	0,9993	4) Laboratoire Central d'Electricité.
ПБ-2-5	405 <sub>7</sub>	107,00 <sub>0</sub>	0,4986 <sub>2</sub>	7,5 <sub>9</sub>	1,000 <sub>0</sub>	0,870 <sub>6</sub>	0,911 <sub>2</sub>	1,001 <sub>7</sub>	1,0000	0,9996	0,995 <sub>6</sub>	0,9992	5) Corrigées pour les variations du flux lumineux et de l'intensité de courant des lampes.
ПБ-2-6	409 <sub>8</sub>	107,00 <sub>0</sub>	0,4986 <sub>7</sub>	7,6 <sub>7</sub>	1,000 <sub>0</sub>	0,871 <sub>4</sub>	0,906 <sub>7</sub>	0,993 <sub>2</sub>	1,0000	1,0003	0,998 <sub>5</sub>	1,0000	
Moyennes . . . . .					1,000 <sub>0</sub>	0,874 <sub>5</sub>	0,917 <sub>2</sub>	1,002 <sub>4</sub>	1,0000	0,9999	0,997 <sub>5</sub>	0,999 <sub>6</sub>	
Moyennes corrigées <sup>5)</sup> . . . . .					1,001 <sub>2</sub>	0,873 <sub>2</sub>	0,916 <sub>2</sub>	1,001 <sub>2</sub>	0,9998	1,0001	0,997 <sub>7</sub>	0,999 <sub>6</sub>	

Table III

Conditions de mesures	Chambre Centrale des Poids et Mesures	Physikalisch-Technische Reichsanstalt <sup>1)</sup>	Laboratoire Central d'Electricité
<b>A. Intensité de lumière.</b>			
1. Distance entre la lampe et le photomètre.	Telle, à laquelle la lampe donne éclairement de 15 lux environ.	Correspondant à l'éclairement de 3 à 10 lux.	Près de 1,2 m.
2. Photomètre.	A contraste de Lummer et Brodhun. Le contraste inverse: les trapèzes sont plus claires que le champ. Un petit champ de comparaison.	A contraste de Lummer et Brodhun avec un grand champ de comparaison.	A contraste de Lummer et Brodhun. Un grand champ de comparaison.
3. Ajustement de couleurs des spectres des champs de comparaison dans le photomètre.	Ne se fait pas; du côté des lampes de comparaison il y a un constant filtre bleu; sa transparence n'entre pas dans le calcul.	Du côté de la lampe de comparaison il y a un filtre bleu variable avec un coefficient de transparence connu.	Ne se fait pas, mais la lampe à mesurer est comparée à l'éta lon intermédiaire ayant le même spectre que la lampe à mesurer. Pas de filtres.
4. Ecran.	De baryum sulfate.	De plâtre.	De plâtre.
5. Nombre d'observateurs.	Deux (à deux lampes de comparaison).	Deux.	Un.
6. Durée de brûlement de la lampe pendant les observations.	12 minutes environ.	—	2-4 minutes.
<b>B. Flux lumineux.</b>			
1. Outillage de mesure.	Photomètre sphérique de diamètre de 1 m avec le banc photométrique de 0,75 m de longueur.	—	Photomètre sphérique, de diamètre de 1 m avec le banc photométrique de 3 m.
2. Photomètre.	A contraste de Lummer et Brodhun. Un grand champ de comparaison.	—	A contraste de Lummer et Brodhun. Un grand champ de comparaison.
3. Ajustement de couleurs des spectres des champs de comparaison dans le photomètre.	Ne se fait pas; du côté de la lampe de comparaison il y a un écran bleu fixe.	—	Ne se fait pas.
4. Teint de la sphère.	Baryum sulfate.	(Zinc oxidé).	Zinc oxidé.
5. Nombre d'observateurs.	Trois.	Deux.	Un.
6. Durée du brûlement de la lampe pendant les observations.	8-10 minutes.	—	2-4 minutes.

<sup>1)</sup> Les renseignements ne sont pas complets et, peut-être, inexacts.

Autres comparaisons exécutées auparavant à la Chambre Centrale des Poids et Mesures<sup>1)</sup> mettent en évidence que le lumen de l'URSS est presque identique avec celui des Etats-Unis d'Amérique et de l'Angleterre, ces comparaisons étant faites aussi bien avec les lampes à vide qu'avec celles à atmosphère gazeuse.

La table III représente les certaines conditions des mesures photométriques employées aux différents laboratoires.

Les comparaisons indiquées plus haut furent exécutées grâce à la prévenance exceptionnelle de M. le Dr. W. Dziobek à la Physikalisch-Technische Reichsanstalt, de M. le professeur R. Jouaust et M. M. Wagnet au Laboratoire Central d'Electricité. L'auteur se fait un devoir agréable de leur exprimer sa reconnaissance la plus profonde.

**V. I. Krotova. Méthode potentiométrique Shering-Alberti au Laboratoire des courants alternatifs de la Chambre Centrale des Poids et Mesures (p.p. 189—212).**

1. Notice générale sur le principe d'opération de la méthode étudiée. Etant donné que les grandeurs primaires et secondaires y sont comparées sans autre intermédiaire, on peut regarder la méthode comme une méthode absolue. Les enroulements primaires et secondaires du transformateur sont connectés aux résistances non-inductives; en réglant une de ces résistances on peut obtenir la compensation des amplitudes. Pour la compensation complète des amplitudes et des angles de déphasage  $\delta$  un condensateur variable est connecté en dérivation à l'une des résistances non-inductives.

2. Description du galvanomètre appliqué, sa sensibilité et son installation. L'appareil de zéro employé est un galvanomètre vibrant du système à aiguille construit et étudié par MM. Shering et Schmidt. La syntonisation de ce galvanomètre est produite par le courant continu dans les limites de 25—100 périodes. La sensibilité de courant était déterminée au laboratoire pour la vibration lumineuse large d'un millimètre; elle atteint 1 microampère environ (les bobines du galvanomètre étant connectées en série-parallèle).

Pour garantir le galvanomètre contre l'influence des champs magnétiques alternatifs à la période du courant mesuré, il est installé dans un boîtier en tôle de fer bien massif. Les vibrations mécaniques du support sont éteintes par une plaque de fonte placée sur des cônes de caoutchouc.

3. Vérification des transformateurs de mesure de courant. Pour avoir dans le potentiomètre proprement dit des courants de faible intensité on utilise des shunts du type non-inductif. Les shunts jusqu'à 30 ampères sont refroidis par le courant d'air, tandis que les shunts au delà de 30 ampères et jusqu'à 3000 ampères sont refroidis par l'eau.

Pour amener le galvanomètre au zéro, on a à régler successivement la résistance variable  $r_1$  et la capacité du condensateur. Le rapport de transformation  $U$  peut être obtenu par le rapport des chiffres lus sur les manettes de l'appareil, et l'angle de déphasage  $\delta$  est tout simplement égal aux centièmes de  $\mu F$  lus sur le condensateur [équations (1), (3) et (4)]. Le montage général de l'appareil est donné par la figure 3.

4. Etude de la précision des essais des transformateurs de courant. Etant donné que les résistances sont mesurées à 0,1% près, le rapport de transformation  $U$  peut être mesuré à 0,2% près et l'angle de déphasage  $\delta$  à 0,1' près. La précision est un peu moins bonne pour les mesures aux faibles régimes —  $\frac{1}{10}$  de charge des shunts.

5. Vérification des transformateurs de mesure de potentiel. L'appareillage de cette partie de l'appareil est identique à celui des transformateurs de courant, seulement les shunts sont remplacés par les diviseurs de haute tension (jusqu'à 23000 volts). Le rapport de transformation  $U$  et l'angle  $\delta$  sont obtenus comme auparavant [équations (6), (11) et (12)]. Le schéma de connections est représenté par la figure 10.

6. Déduction de la formule précise pour le rapport de transformation et de l'angle de déphasage. Ayant dans ce cas un contour très-

<sup>1)</sup> Leurs résultats seront publiés prochainement.



compliqué, on peut obtenir cette formule en introduisant quelque simplification, ce qui amène une erreur de 0,05% pour des capacités de 1  $\mu F$ . Le remplacement de la formule précise par la formule simplifiée amène une erreur qui ne peut pas avoir un sens pratique [équation (7)].

La figure 8 représente les courbes des erreurs de détermination de  $U$  provenant de l'application de la formule simplifiée, les courbes  $b$  et  $c$  pour les transformateurs de courant et les courbes  $a$  et  $d$  pour les transformateurs de potentiel.

7. Etude de la précision des essais des transformateurs de potentiel. Comme dans les transformateurs de courant le rapport de transformation peut être mesuré à 0,2% près et l'angle de déphasage à 0,1' près.

8. A titre d'exemple sont donnés quelques résultats trouvés sur des transformateurs étudiés au laboratoire des courants alternatifs de la Chambre Centrale des Poids et Mesures.

La fig. 14 représente l'action de la fréquence sur le rapport de transformations et sur l'angle de déphasage.

La fig. 15 représente l'influence de la résistance non-inductive, qui ferme le secondaire du transformateur, sur le rapport de transformation et sur l'angle de déphasage.

Les fig. 16, 17, 18, 19 et 20 représentent les courbes de plusieurs transformateurs de courant différents, dont les circuits secondaires sont fermés sur des résistances différentes inductives et non inductives.

**B. M. Ianovsky. La courbe idéale de l'aimantation résultant des cycles ordinaires d'hystérèse** (p.p. 213—221).

La courbe idéale ou anhystérésique de l'aimantation proposée par M. M. Gumlich et Steinhaus est obtenue par imposition du champ alternatif avec amplitude décroissante à zéro sur le champ constant et peut être regardée comme courbe particulière de l'aimantation. Dans l'article présent l'auteur veut démontrer par la voie expérimentale, que la courbe idéale n'est que le résultat des cycles ordinaires d'hystérèse exécutés par l'échantillon pendant l'action du champ alternatif.

A l'expérience on a substitué le courant alternatif, par lequel on obtient le champ alternatif, par le courant continu et l'on produisait le changement de la direction à l'aide de commutateur et la réduction de l'amplitude en introduisant la résistance correspondante (le schéma de la fig. 2). En observant par le galvanomètre ballistique le changement du flux magnétique dans l'échantillon à chaque jonction et interruption du courant l'auteur a obtenu immédiatement les sommets des cycles et deux points correspondant à zéro du champ alternatif. En connaissance du caractère des cycles de l'hystérèse d'après les recherches préliminaires (fig. 3), on peut construire toute leur marche dans une pareille aimantation. Une telle construction pour l'acier de tungstène ordinaire est donnée sur la fig. 4, d'où on peut voir, que le point  $M$  de la courbe fondamentale de l'aimantation, correspondant à l'intensité du champ constant  $OP$ , après l'influence du champ alternatif se déplace au point  $M_1$ , correspondant au point de la courbe idéale du même champ  $OP$ .

**B. M. Ianovsky. Calcul d'aimants constants d'une forme rectiligne** (p.p. 222—229).

L'auteur expose la méthode du calcul d'aimants d'une forme rectiligne, c'est-à-dire la détermination du moment magnétique d'après les dimensions données d'un aimant et les qualités de l'acier, et puis la tâche inverse—la détermination des dimensions des aimants d'après le moment magnétique donné. On peut déterminer le moment magnétique comme une ordonnée d'un point de la courbe d'hystérèse de l'acier obtenue par l'intersection de la droite tracée au point initial des coordonnées sous l'angle, dont le tangent est égal au coefficient magnétométrique de la démagnétisation (fig. 1). Le coefficient magnétométrique de la démagnétisation  $N$  pour le rapport donné  $\beta = \frac{l}{d}$  de la longueur au diamètre d'un aimant cylindrique est déterminé par la courbe (fig. 2) exprimant la dépendance entre  $\beta$  et  $N$ . Pour les aimants ayant la coupe rectangulaire on prend pour diamètre celui du cercle, dont l'aire est égale à celle de la coupe de l'aimant donné.

La tâche inverse, c'est-à-dire la détermination d'un diamètre ou de la longueur d'aimant d'après le moment magnétique donné se résout par la construction des courbes exprimant la dépendance entre  $I_m \beta$  ou  $\frac{I_m}{\beta^2}$  et  $\beta$ , où  $I_m$  — la moyenne d'intensité de la magnétisation, puisque d'après la définition le moment magnétique

$$M = \frac{\pi}{4} I_m \beta d, \text{ d'où } I_m \beta = \frac{4M}{\pi d} \text{ et } \frac{I_m}{\beta^2} = \frac{4M}{\pi d^3}. \text{ Ainsi en connaissant } \frac{4M}{\pi d^3} \text{ ou } \frac{4M}{\pi \beta^2} \text{ on}$$

peut d'après la courbe correspondante trouver  $\beta$ , d'où  $l$  ou  $d$ . Les pareilles courbes sont représentées à la fig. 3 pour l'acier de tungstène et cobaltique.

Puisque la dépendance entre  $I_m \beta$  et  $\beta$  est apparue comme rectiligne, aussi bien pour l'acier de tungstène que pour l'acier cobaltique, il en résulta la possibilité d'exprimer le moment magnétique d'un aimant comme la fonction de ses dimension

$$M = mld^2 + nd^3$$

où  $m$  et  $n$  sont les constantes dépendant des qualités de l'acier.

Pour l'acier de tungstène:

$$M = 747d^2l - 6510d^3.$$

Pour l'acier cobaltique:

$$M = 646d^2l - 2310d^3.$$

**B. M. Ianovsky et N. I. Spiridovitch. Observations magnétiques, faites en été de 1928 dans la région de l'Oural central et méridional (p.p. 230—247).**

Les auteurs présentent dans cet article les méthodes et les résultats des observations sur les éléments de magnétisme terrestre (la déclinaison, la composante horizontale et l'inclinaison) faites par eux à onze points d'appui magnétiques et à six points d'intervalle (table VII et VIII), en été de 1928.

Les observations furent faites à l'aide de théodolite magnétique de Chasselon-Moureaux N° 5 et d'inclinateur de Dover N° 236. La série d'observations consistait à déterminer les corrections du chronomètre, l'azimut de la mire, la déclinaison, la composante horizontale et l'inclinaison. On a fait quatre séries d'observations aux points d'appui et une seule à chaque point d'intervalle. On déterminait la composante horizontale en observant la période d'oscillation  $T$  de l'aimant et l'angle des déviations  $V$  d'après la formule (3). On avait déterminé la constante de l'appareil  $A$  avant le départ et après le retour à l'Observatoire de Sloutzk et les résultats de ces déterminations sont représentés à la table IV.

Les aimants (l'un déviant et l'autre à dévier) avant le départ ont été aimantés jusqu'à saturation et mis en état de stabilité au moyen de la démagnétisation par le champ alternatif avec amplitude décroissante jusqu'à zéro. Pendant le voyage on les gardait séparés pour éviter l'influence mutuelle. Il s'en suivit, en résultat des pareils traitement et régime, une stabilité plus grande que celle des aimants ordinaires. Le changement du moment magnétique pendant toute la période du voyage ne dépassait pas 0,1%, ce qu'on peut voir à la table I, où sont données les valeurs du moment magnétique aux points d'appui.

Pour obtenir une plus grande stabilité d'aimants, à côté des aimants de tungstène, appartenant à l'appareil de Chasselon, les auteurs ont préparé deux aimants (déviant et à dévier) d'acier cobaltique (15% Co).

L'aimantation et la stabilisation furent obtenues par la même méthode dont on se servit aux aimants de tungstène. Les aimants à cobalt étaient employés pour mesurer la composante horizontale aux points d'appui en observant l'angle de la déviation d'après la formule (4). La constante  $C$  et le moment magnétique furent déterminés avant le départ et après le retour à l'Observatoire magnétique de Sloutzk. Les résultats exposés à la table II mettent en évidence que le changement du moment magnétique ne dépassa pas 0,02%. La comparaison (table III) des résultats des mesures de la composante horizontale, obtenus par la méthode ordinaire et par la méthode des déviations seules, en employant l'aimant de cobalt, nous montre, que la différence ne dépasse nulle part l'erreur admissible.

Les auteurs viennent à la conclusion, que la substitution des aimants ordinaires par ceux de cobalt, traités de la manière sus-indiquée, permettrait de remplacer la méthode de mesures de la composante horizontale à l'aide des observations de la période d'oscillations et de l'angle de déviation par l'observation seulement de l'angle de déviation, sans diminuer la précision des observations.

**S. W. Lipine.** Sur le dosage volumétrique de manganèse dans le fer et les aciers par la méthode au persulfate d'ammoniaque (p.p. 248—260).

L'étude de la méthode au persulfate d'ammoniaque en présence du nitrate d'argent comme catalyseur a été faite par l'auteur pour les trois modifications suivantes: 1) pour le procédé recommandé par la Société Américaine pour l'Inspection des Matériaux, 2) pour la modification approuvée par la Commission Chimique de l'Association des Métallurgistes Allemands et 3) pour la méthode proposée nouvellement par M. Ch. Swoboda. La méthode a été étudiée en rapport au dosage de manganèse dans le fer et les aciers ordinaires, ces derniers contenant éventuellement du chrome pas au-dessus de 1%.

Les recherches ont été faites sur des solutions synthétiques contenant des quantités connues de manganèse en présence de fer et dans les conditions d'acidité et de volumes, correspondant aux conditions produites par l'attaque d'un échantillon de fer ou d'acier par l'acide employé et par les manipulations suivantes du procédé. Les résultats obtenus indiquent qu'avec l'augmentation de la teneur en manganèse de 0,1 jusqu'à 2% le titre de la liqueur arsénique reste le plus constant pour la modification proposée par M. Ch. Swoboda, mais que les conditions prescrites par cet auteur ne sont atteintes qu'avec difficulté. Le procédé allemand livre pour la valeur du titre des chiffres quoique pas parfaitement constantes, mais dans ce cas la réaction de l'acide arsénique sur le permanganate suit de plus près la relation:



Les écarts des valeurs du titre de la liqueur arsénique de la valeur moyenne ne surpassent pas l'erreur maximale d'une détermination partielle. L'excès de cette valeur moyenne au-dessus de sa valeur théorique, correspondant à la relation sus-indiquée, est expliqué par l'auteur de la manière suivante: la couleur jaune verdâtre des sels de sesquioxyde de manganèse et le teint rose des petites quantités de permanganate vers la fin du titrage sont des couleurs complémentaires, c'est pourquoi la décoloration de la solution arrive avant la fin de réaction. A cause de cela l'auteur a proposé de poursuivre le titrage jusqu'à ce que la solution accueille la nuance qui ne change plus avec l'addition suivante de la liqueur arsénique. Cette façon de procéder a été acceptée par le laboratoire chimique de la Chambre Centrale de Poids et Mesures.

Les résultats obtenus avec des solutions synthétiques ont été vérifiés sur des échantillons d'acier; la teneur en manganèse de ces échantillons a été déterminée par la méthode gravimétrique d'après Rother.

La présence de 1% de chrome a été trouvée n'ayant aucune importance. Le doublement des quantités de nitrate d'argent et de persulfate d'ammoniaque, prescrit par la méthode pour les matériaux contenant au-dessus de 1% de manganèse, n'a aucune influence sur les résultats obtenus, ce qui est de grande importance dans les cas où la teneur approximative en manganèse est inconnue.

**G. S. Volpé.** Les recherches sur l'appareil d'Abel-Pensky (p.p. 261—271).

On se sert de l'appareil d'Abel-Pensky pour déterminer la température de l'inflammation des vapeurs de produits légers de naphte. Les appareils d'Abel-Pensky employés en Allemagne sont admis en l'URSS comme étalons. Normes des tolérances de leurs dimensions sont établies d'après les données de la Normal-Eichung Kommission allemande.

L'auteur a étudié les influences des déviations des dimensions d'appareil des normes établies et d'autres facteurs qu'on peut rencontrer aux mesures sur les indications de l'appareil.

Ces recherches ont conduit à résultats qui suivent:

1. Les valeurs de limite pour la profondeur de l'immersion de tuyau de mèche donnent les écarts de  $0,63^{\circ}$  C.
2. Les valeurs de limite pour la hauteur du crochet donnent les écarts de  $0,10^{\circ}$  C.
3. La diminution des aires de fenêtres extrêmes dans les limites de tolérance ne produit aucunes variations sensibles des indications de l'appareil.
4. La température du bain pour le pétrole à éprouver ne produisait aucune influence sur les indications de l'appareil.
5. Le moment de la mise en action de l'écran doit être déterminé avec précision maximale.
6. La grandeur de la flamme est d'une grande importance, d'où il faudrait diminuer la tolérance ( $\pm 1,0$  mm) pour le diamètre de la boule.
7. L'enlèvement de surplus de pétrole pendant l'action de verser est admissible.
8. L'obligation de remplissage à la température de 7 degrés inférieure à celle de l'inflammation fait l'expérience plus précise, mais pour les buts pratiques elle ne devrait pas être observée rigoureusement.

En outre, l'auteur trouve raisonnable qu'aux règles de vérification des appareils il faudrait introduire l'obligation de mesurer la grandeur de l'immersion de tuyau de mèche à deux positions successives du levier à deux bras. La présence d'un grand écart serait la cause d'élimination de l'appareil. Il faudrait faire la vérification en employant diverses sortes de pétrole à chaque série d'observations.

En général la précision de l'appareil d'Abel-Pensky est estimée de  $0,5^{\circ}$ . Les expériences faites par l'auteur lui donnent le droit d'affirmer que si l'on conduit l'expérience par une méthode uniforme, avec l'appareil de bonne qualité, on peut atteindre la précision de  $0,1^{\circ}$  C. En tout cas, avec cette précision on doit vérifier l'appareil étalonné d'Abel-Pensky, qui sert de copie de travail de l'appareil étalon, d'après laquelle on vérifie tous les appareils techniques d'Abel-Pensky.

**S. N. Oussaty.** Les règles et spécifications pour la protection contre l'influence nuisible des rayons X (p.p. 272-287).

Les principes physiques et biologiques des spécifications et règles pour la protection contre l'influence nuisible des rayons X y sont exposés. Les coefficients de l'affaiblissement pour le plomb, les équivalents pour les autres corps, obtenus au laboratoire des rayons X de la Chambre Centrale des Poids et Mesures sont comparés avec les mêmes coefficients obtenus par M.M. Kaye et Owen au National Physical Laboratory. Les écarts des résultats peuvent être expliqués par des conditions d'expériences et par la différence de méthodes et de matériaux à examiner.

La nécessité d'élaborer les méthodes de la détermination de l'équivalent de plomb et d'une dose tolérante est indiquée. Quant à la protection contre l'influence nuisible des rayons X les règles et spécifications publiées en 1925 dans l'URSS sont les plus efficaces et correspondent aux spécifications et règles internationales.

**M. N. Mladentzev.** La pendule différentielle sclérométrique de Mendéléev (p.p. 288-292).

Les recherches expérimentales sur les oscillations des balances (pendules)<sup>1)</sup> conduisirent Mendéléev vers l'étude expérimentale de la question sur l'influence du frottement du couteau (prisme) au coussinet sur l'oscillation de la balance. On a trouvé que la substitution du prisme (ou du coussinet) par un autre prisme préparé d'une autre substance fait influencer sensiblement la période des oscillations des balances,

<sup>1)</sup> La balance n'est autre chose qu'une sorte de pendule ayant la particularité que le centre de gravité se trouve tout près sous le point d'appui, tandis que le centre d'oscillation est très loin sous le centre de gravité. D. Mendéléev. La recherche expérimentale sur l'oscillation de la balance. St. Pet. 1898. p. II-2.



leurs sensibilité et décrement. Cette constatation a permis à Mendeliev de proposer une nouvelle méthode de la détermination de la sclérosité de la matière et de construire à ce but des nouveaux appareils, qui sont représentés aux figures 2 et 3.

**Texte concernant l'adoption d'une échelle internationale de température** (p.p. 293—297).

Soumis pour la discussion par le Bureau of Standards, le National Physical Laboratory et la Physikalisch-Technische Reichsanstalt. Traduction russe de Comptes Rendus des Séances de la Septième Conférence Générale des Poids et Mesures (pp. 94—99).

**Nécrologes** (p.p. 298—303).

Dmitry Pétrovitch Konovalov, Président de la Chambre Centrale des Poids et Mesures, Membre de l'Académie des Sciences de l'URSS. Mort le 6 janvier 1920.

Alexandre Nicolaevitch Guéorguievsky, Chef du laboratoire des étalons thermométriques de la Chambre Central des Poids et Mesures, Métrologiste en chef. Mort le 23 novembre 1928.

## Оглавление

### 3 (15) выпуска Временника Главной Палаты мер и весов

	Стр.
<i>И. Д. Менделеев.</i> О наиболее выгодных условиях наблюдения колебаний методом Гаусса-Потгендорфа и их применении к наблюдению качаний точных весов . . . . .	3—16
1. Определение оптической чувствительности установки . . . . .	3
2. Субъективный метод . . . . .	4
3. Предлагавшиеся амплификаторы . . . . .	6
4. Уточнение анализа . . . . .	7
5. Амплификатор первого рода . . . . .	9
6. Размеры амплификатора . . . . .	10
7. Объективный метод . . . . .	10
8. Предлагавшиеся улучшения . . . . .	11
9. Амплификатор второго рода . . . . .	12
10. К теории чувствительности весов . . . . .	13
11. Оптическая синхронизация весов . . . . .	15
<i>И. И. Куницын.</i> Установление эталонных наборов ареометров для определения плотностей, меньших единицы . . . . .	17—28
Описание ареометров . . . . .	17
Приборы и материалы, употребившиеся для эталонирования ареометров . . . . .	18
Эталонирование ареометров . . . . .	20
<i>А. К. Колосов.</i> Международный нормальный элемент Вестона . . . . .	29—107
Кахмиевый элемент Вестона без твердого гидрата . . . . .	32
Энергетика нормального элемента Вестона . . . . .	34
Химические вещества, употребляемые для приготовления нормальных элементов Вестона, и способы получения их . . . . .	44
Зарядка нормальных элементов Вестона . . . . .	80
Воспроизводимость и устойчивость нормальных элементов Вестона. Влияние серной кислоты на электродвижущую силу нормального элемента Вестона . . . . .	82
Опыт сравнения нормальных элементов с эталонами электродвижущей силы иностранных метрологических лабораторий . . . . .	97
<i>Е. С. Чураева.</i> Эталонные группы нормальных элементов Вестона . . . . .	108—122
<i>М. Ф. Маликов и А. К. Колосов.</i> Международные сравнения нормальных элементов в 1926 и 1927 гг. . . . .	123—134
<i>М. Ф. Маликов.</i> Сравнение нормальных элементов в Главной Палате и в Центральной Электрической Лаборатории в Париже в 1928 г. . . . .	135—136
<i>М. Ф. Маликов.</i> Новая форма нормальных элементов Вестона . . . . .	137—141
<i>И. М. Тиходеев.</i> Световые эталоны-свидетели С—1, и С—II, вторичный эталон П—2 и сравнение их с основным световым эталоном СССР. . . . .	142—168
Электрические измерения . . . . .	148
Точность измерения длины, установки лампы и т. д. . . . .	149
Основной световой эталон СССР. Его сохранность . . . . .	149
Эталон-свидетель первый С—1 . . . . .	154
Эталон-свидетель второй С—II . . . . .	157
Русское, английское, французское и американское значения международной свечи . . . . .	159
Вторичный эталон П—2 . . . . .	160
Приложение 1. Учет изменения силы света лампы сравнения . . . . .	163
Приложение 2. Об устойчивости свойства глаза . . . . .	163
Приложение 3. Повторное измерение силы тока у некоторых ламп . . . . .	168

	Стр.
<i>П. М. Тиходеев.</i> Установление световых эталонов-свидетелей $C-I_2$ (с № 16 по № 30) и $C-III$ . . . . .	160—182
Приложение. Связь между частотой лампы вторичного эталона . . . . .	181
<i>П. М. Тиходеев.</i> Сравнение единиц силы света и светового потока СССР с единицами Германии и Франции . . . . .	183—188
<i>В. И. Кротова.</i> Компенсационный метод Шеринг-Альберти в лаборатории переменного тока . . . . .	189—212
1. Общие сведения и принцип действия исследуемого метода . . . . .	189
2. Описание применяемого гальванометра, его чувствительность и установка . . . . .	189
3. Проверка измерительных трансформаторов тока . . . . .	192
4. Определение погрешностей при измерениях на трансформаторах тока . . . . .	197
5. Проверка трансформаторов напряжения . . . . .	200
6. Вывод точной формулы для коэффициента трансформации $U$ и угла сдвига фаз $\delta$ . . . . .	202
7. Определение погрешностей при измерениях на трансформаторах напряжения . . . . .	206
8. Некоторые измерения, произведенные на аппарате Шеринг-Альберти . . . . .	211
<i>Б. М. Яновский.</i> Пазовая кривая намагничивания, как результат обычных гистерезисных циклов . . . . .	213—221
<i>Б. М. Яновский.</i> Расчет постоянных магнитов прямоугольной формы . . . . .	222—229
<i>Б. М. Яновский и Н. И. Спиридович.</i> Магнитные наблюдения в районе среднего и южного Урала, произведенные летом 1928 года . . . . .	230—247
1. Астрономические наблюдения . . . . .	234
2. Горизонтальная составляющая . . . . .	234
3. Склонение . . . . .	235
4. Наклонение . . . . .	235
<i>С. В. Латин.</i> Серебряно-персульфатный способ определения марганца в железе и стали . . . . .	248—260
<i>Г. С. Вольне.</i> Исследование прибора Абеля-Пейского . . . . .	261—271
<i>С. Н. Усатый.</i> Правила и нормы защиты от вредного действия рентгеновых лучей . . . . .	272—287
<i>М. Н. Младенцев.</i> Дифференциальный вискометрический магнитик Менделеева . . . . .	288—292
Положение о международной температурной шкале, представленное Бюро Стандартов, Национальной Физической Лабораторией и Государственным Физико-Техническим Институтом на обсуждение 7-й Общей Конференции по мерам и весам и принятое этой Конференцией 4 октября 1927 г. . . . .	293—297
Введение . . . . .	293
Часть первая. Определение международной температурной шкалы . . . . .	294
Часть вторая. Подробные спецификации . . . . .	295
Некрологи . . . . .	298—303
Д. П. Коновалов . . . . .	298
А. Н. Георгиевский . . . . .	301
Резюме статей на французском языке . . . . .	304—323

**Table des matières des résumés des articles publiés dans la 3 (15)  
partie de Wrémennik (Annales) de la Chambre Centrale des Poids  
et Mesures.**

	Pages
I. D. Mendéléév. Analyse de la méthode du miroir; applications à la balance . . . . .	304
I. I. Kouznétzov. Etablissement d'une série des aréomètres-étalons pour la densité au dessous d'unité . . . . .	306
A. C. Kolossov. Élément normal Weston international . . . . .	306
C. S. Tchouraéva. Les groupes-étalons des éléments normaux Weston . . . . .	308
M. F. Malikov et A. C. Kolossov. Les comparaisons internationales d'éléments normaux, faites en 1926 et 1927 . . . . .	308
M. F. Malikov. Résultats des comparaisons d'éléments normaux, faites à la Chambre Centrale des Poids et Mesures de l'URSS et au Laboratoire Central d'Electricité en 1928 . . . . .	309
M. F. Malikov. Un nouveau modèle d'éléments normaux Weston . . . . .	311
P. M. Tikhodéev. Les étalons témoins de lumière C-I, et C-II, l'étalon secondaire II-2 et leur comparaison avec l'étalon fondamental de lumière de l'URSS . . . . .	311
P. M. Tikhodéev. Etablissement des étalons témoins de lumière C-I, et C-III . . . . .	312
P. M. Tikhodéev. Comparaison des unités d'intensité de lumière et de flux lumineux de l'URSS avec ceux de l'Allemagne et de la France . . . . .	313
V. I. Krotova. Méthode potentiométrique Shering-Alberti au laboratoire des courants alternatifs de la Chambre Centrale des Poids et Mesures . . . . .	318
B. M. Ianovsky. La courbe idéale de l'aimantation résultant des cycles ordinaires d'hystérèse . . . . .	319
B. M. Ianovsky. Calcul d'aimants constants d'une forme rectiligne . . . . .	319
B. M. Ianovsky et N. I. Spiridovitch. Observations magnétiques faites en été de 1928 dans la région de l'Oural central et méridional . . . . .	320
S. W. Lipine. Sur le dosage volumétrique de manganèse dans le fer et les aciers par la méthode au persulfate d'ammoniaque . . . . .	321
G. S. Volpé. Les recherches sur l'appareil d'Abel-Pensky . . . . .	321
S. N. Oussaty. Les règles et spécifications pour la protection contre l'influence nuisible des rayons X . . . . .	322
M. N. Mladentzev. La pendule différentielle sclérométrique de Mendéléév . . . . .	322
Texte concernant l'adoption d'une échelle internationale de température . . . . .	323
Nécrologes . . . . .	323



# ИЗДАНИЯ ГЛАВНОЙ ПАЛАТЫ МЕР И ВЕСОВ

ЛЕНИНГРАД, Международный пр., 19.

---

1.

## Временник Главной Палаты мер и весов

Выпуск 1 (13). 1925 год. 230 стр. Цена 3 руб.

СОДЕРЖАНИЕ. — А. Н. Доброхотов. Определение удельного веса воздуха. — Н. И. Адамович. Платино-иридиевая полусаженная мера — П4. Н. Х. Прейлиш. Установление и хранение точного времени. — И. В. Мещерский. Теоретические исследования манометрической трубки. — М. Ф. Маликов. Эталон международн. вольта. — Л. Н. Богоявленский. 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. Указатель статей, помещенных в частях 1—12 Временника Главной Палаты мер и весов. Резюме статей на французском языке.

## ИЗДАНИЯ ГЛАВНОЙ ПАЛАТЫ МЕР И ВЕСОВ

ЛЕНИНГРАД, Международный пр., 19.

2.

### Временник Главной Палаты мер и весов

Выпуск 2 (14). 1928 год 284 стр. Цена 6 руб.

СОДЕРЖАНИЕ. — М. Ф. Маликов. Перечень основных эталонов Главной Палаты мер и весов и их основных копий. — А. Н. Доброхотов. О весе литра воздуха. — Н. М. Егоров. О чувствительности весов. — Н. И. Адамович. Сличения инварных геодезических жезлов-эталонов G14 и g22. — Н. Х. Прейпич. Об исключении систематических ошибок электромагнитных хронографов. — Б. И. Рак. О приеме ритмических сигналов по измененному способу Сооке. — Н. А. Маренин. Платиновые термометры сопротивления. — Г. М. Кондратьев. Формула для охлаждения термометра. О формуле Griffiths'a для катармометра. — Е. Б. Лопухин. К вопросу об установлении технических условий для радиобатарей. — Н. И. Спиридович. Исследование магнитных свойств смесей двух различных магнитных материалов. — Л. Н. Богоявленский. Метод приготовления образцового препарата зеленой окиси урана. — А. Н. Бойко. Метод электростатических взвешиваний мельчайших частиц. — М. А. Шателен. Световые эталоны СССР. — П. М. Тиходеев. Установление светового эталона СССР. — Е. Д. Девяткова. Цветовые свойства белых веществ, применяемых в световых измерениях, и влияние их на точность измерений. — А. А. Сурип. Теория дисковых водомеров. — Н. Х. Прейпич и Б. И. Рак. Служба времени Главной Палаты мер и весов в 1923/25 г.г. — С. Н. Усатый. Измерение высокого напряжения в связи с вопросом о выборе высоковольтного вольтметра, как эталона. — Л. Н. Богоявленский. Непрерывность радиоактивного распада и эталон радия. — Резюме статей на франц. языке.

Выпуски „Временника“ 1—7 РАЗОШЛИСЬ. Выпуски 8, 9, 10, 11 и 12 имеются в ограниченном количестве и продаются\* по 1 рублю.

