

ВРЕМЕННОК

ГЛАВНОЙ ПАЛАТЫ МЕР И ВЕСОВ

Выпуск 2 (14)

СОДЕРЖАНИЕ.—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.* Сравнения стальных геодезических желез-эталонов 0 14 и g 22.—*Н. Х. Прейнич.* Об исключении систематических ошибок электромагнитных хронографов.—*Б. И. Рак.* О приеме ритмических сигналов по изменчивому способу *W. E.* и *F. V. Сооке.*—*Н. А. Маренин.* Платиновые термометры сопротивления.—*Г. М. Кондратьев.* Формула для охлаждения термометра.—*Г. М. Кондратьев.* О формуле *Griffith's* для ката-термометра.—*Е. Б. Лопухин.* К вопросу об установлении технических условий для радиобатарей.—*Н. И. Спиридонович.* 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. Таходеев.* Установление светового эталона СССР.—*Е. Д. Девиткова.* Цветовые свойства белых веществ, применяемых в световых измерениях, и влияние их на точность измерений.—*А. А. Суриц.* Теория дисковых водомеров.—*Н. Х. Прейнич* 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.





ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНЫХ ЭТАЛОНОВ ГЛАВНОЙ ПАЛАТЫ МЕР И ВЕСОВ
И ИХ ОСНОВНЫХ КОПИЙ ¹⁾.

Д л и н а.

1. Основной эталон метра. Платино-иридиевая копия международного метра, носящая знак № 28 и переданная России Первой Общей Конференцией мер и весов в 1889 году.

Описание меры и результаты ее изучения даны в нижеприведенном Сертификате Международного Бюро мер и весов.

Comité International des Poids & Mesures.

C E R T I F I C A T

du

Bureau International des Poids et Mesures

pour le

MÈTRE PROTOTYPE № 28,

attribué à l'Empire de Russie

Ministère des Finances.

Ce Prototype, en alliage de platine iridié à dix pour cent d'iridium, et en forme de barre de 120 centimètres de longueur, à section transversale dite en X, a été construit par M. M. Johnson, Matthey & C^o, à Londres. La barre a été dressée et travaillée à la main, enfin polie et coupée à la longueur de 102 centimètres par M. M. Brunner frères, à Paris.

Il a été tracé par M. G. Tresca, Ingénieur attaché à la Section française de la Commission du Mètre, sur des mouches en forme d'ellipse, dont la surface plane avait été polie spéculairement. Tout ce travail a été exécuté au Conservatoire des Arts et Métiers, à Paris, sous la direction de M. Cornu, Membre de l'Institut, délégué de la Section française, et de M. Broch, Directeur du Bureau international, délégué du Comité international.

L'ébarbage des traits a été fait au Bureau international par M. Boinot, Aide de cet établissement.

Le Prototype est accompagné de deux échantillons, coupés sur ses deux extrémités et préparés par M. L. Laurent, à Paris, pour les études de dilatation au moyen de la méthode Fizeau.

Le Prototype est enfermé dans un étui spécial, constitué par un cylindre de bois plein, dans lequel on a pratiqué une rainure longitudinale pour recevoir la Règle, et qui est entouré d'une forte enveloppe cylindrique de laiton, munie d'une fermeture à vis.

¹⁾ Составлен М. Ф. Маликовым на основании данных, полученных от ведущих эталонными лабораториями Метрологического Института.

Description.

La section transversale de la Règle est en forme dite en X, inscrite dans un carré de 20^{mm} de côté. La surface supérieure de la nervure médiane, sur laquelle se trouvent les traits, coïncide avec le plan des fibres neutres. Elle a été ramenée, par un léger amincissement des jambages inférieurs à la hauteur moyenne de la section.

Le tracé sur les mouches se compose, à chaque extrémité, de trois traits d'une épaisseur de 6 à 8 microns, séparés les uns des autres par des intervalles de 0^{mm}5. La distance comprise entre les traits moyens de ces deux groupes de trois traits représente la longueur de la Règle. La position de l'axe est déterminée par des groupes de deux traits longitudinaux, plus forts, tracés sur les deux mouches à 0^{mm}2 l'un de l'autre.

La Règle porte sur la face supérieure de jambages, gravées au burin.

A Gauche, l'inscription : A.28.

A Droite, l'inscription : B.28.

Les deux échantillons qui accompagnent le Prototype, dans une boîte spéciale, portent, gravés au burin, les mêmes numéros et lettres que les extrémités dont ils ont été détachés.

Composition chimique.

La préparation du platine et de l'iridium qui ont servi à l'alliage du bloc dont les barres ont été tirées, a été contrôlée par M. Stas, Membre de l'Académie des sciences de Bruxelles, délégué du Comité international, par Henri Sainte-Claire-Deville, et après sa mort, par Debray, Membres de l'Institut de France, délégués de la Section française.

L'analyse de l'alliage a été faite par ces savants sur plusieurs échantillons pris directement sur les Règles terminées. D'après les résultats de ces analyses, l'alliage ne contient aucune trace d'iridium à l'état libre, ne renferme pas de ruthénium et seulement une quantité extrêmement petite, un à deux dix-millièmes, de rhodium, et un dix millième de fer. Le dosage de l'iridium a donné pour résultat 10,08 à 10,09 pour 100.

M. Tornøe, Aide du Bureau international, a pris part, sous la direction de M. Debray, aux analyses exécutées au laboratoire des hautes études de l'École normale supérieure à Paris. Après la mort de M. Debray, M. Tornøe a rédigé sur ces analyses un rapport détaillé, publié dans le tome VII des Travaux et Mémoires du Bureau international.

Détermination.

Coefficient de dilatation. La mesure de la dilatation a été confiée à M. R. Benoit, premier Adjoint du Bureau international, avec la collaboration de M. Ch. Guillaume, Attaché au Bureau.

Cette détermination a été faite en comparant le Prototype № 28 au Prototype international M, dans l'auge du Comparateur à dilatation, à 8 températures différentes, comprises entre 0^o2 et 37^o9. La dilatation du Prototype international M avait été mesurée antérieurement par la méthode absolue, au moyen du Comparateur à dilatation, ainsi que par la méthode Fizeau.

Ces observations ont conduit au résultat suivant:

Coefficient de dilatation du Prototype № 28, de 0° à t°:

$$\alpha = 10^{-6} (8599 + 1,70 t)$$

où t désigne la température en degrés du thermomètre à mercure Tonnelot en verre dur, ou bien :

$$\alpha = 10^{-6} (8650 + 1,00 T)$$

où T désigne la température d'après l'échelle normale adoptée pour le service international des Poids et Mesures (échelle du thermomètre à hydrogène).

Longueur à zéro. Les mesures de longueur ont été faites au moyen du Comparateur Brunner, dans l'auge à eau, sous la direction immédiate de M. le Directeur Broch, par M. M. Boinot et Isaachsen, Aides du Bureau.

Les Prototypes nationaux, au nombre de 30, ont été comparés entre eux, systématiquement, en 11 groupes croisés, savoir 5 groupes de 6 Règles et 6 groupes de 5 Règles; en outre, chacun d'eux a été comparé d'une part avec le Prototype provisoire I_2 du Bureau international, lequel a été comparé en 1882 avec le Mètre des Archives de France; et d'autre part avec le nouveau Prototype international M . Enfin ces deux derniers, I_2 et M ont été également comparés entre eux. Dans chaque groupe les comparaisons ont été faites dans toutes les combinaisons possibles. Chaque comparaison complète comprenait 4 comparaisons individuelles, dans les 4 positions que les Règles peuvent prendre par rapport aux deux microscopes et aux observateurs.

Les résultats combinés de ces 196 comparaisons complètes, ou 784 comparaisons individuelles, ont donné pour le Mètre № 28

A la température zéro:

$$\text{Prototype № 28} = 1^m + 0^{\mu},5 \pm 0^{\mu},1.$$

L'équation du Prototype est donc:

$$\text{Prototype № 28} = 1^m + 0^{\mu},5 + 8,650 T + 0,00100 T^2 \pm 0^{\mu},2$$

où T désigne la température exprimée en degrés de l'échelle normale adoptée pour le service internationale des Poids et Mesures.

Intervalles des traits auxiliaires. Ces intervalles ont été déterminés dans l'eau, avec les micromètres du Comparateur Brunner, en observant à chaque bout séparément les deux intervalles et leur somme. Les observations ont été répétées dix fois, sous chacun des deux microscopes.

Si l'on désigne les traits, en partant de l'extrémité A jusqu'à l'extrémité B du Prototype, par les numéros 1, 2, 3 et 4, 5, 6, les numéros 2 et 5 étant les traits délimitatifs du Mètre, on a trouvé pour leurs intervalles les valeurs suivantes:

Extrémité A. Intervalle	{1-2}	=	500 ^μ ,1	± 0 ^μ ,1
—	{2-3}	=	507 ^μ ,8	± 0 ^μ ,1
—	{1-3}	=	1007 ^μ ,9	± 0 ^μ ,2
Extrémité B. Intervalle	{4-5}	=	501 ^μ ,8	± 0 ^μ ,1
—	{5-6}	=	406 ^μ ,1	± 0 ^μ ,1
—	{4-6}	=	997 ^μ ,9	± 0 ^μ ,2

BUREAU INTERNATIONAL

des Poids et Mesures,
(Pavillon de Breteuil, près Stèvres)
le 28 Septembre 1889.

Le Directeur de Bureau,
Dr René Benoit.

Certifié conforme:

Pour le Comité International des Poids et Mesures,

Le Secrétaire,
Dr Ad. Hirsch.

Le Président,
G^{ral} Marquis de Mulhacén.

Перевод.

Международный Комитет мер и весов.

СЕРТИФИКАТ

Международного Бюро мер и весов

для

ПРОТОТИПА МЕТРА № 28,

переданного Министерству Финансов Российской Империи.

Этот прототип был изготовлен г.г. Джонсон, Маттеи и К^о, в Лондоне, из платино-иридиевого сплава, содержащего десять процентов иридия, в виде стержня в 120 сантиметров длины, имеющего поперечное сечение так называемой формы X. Стержень был выровнен и отделан от руки, затем отполирован и обрезан до длины в 102 сантиметра г.г. братьями Бруннер в Париже.

Штрихи были нанесены г. Г. Треска, инженером при французской секции Метрической Комиссии, на участках эллиптической формы, плоская поверхность которых отполирована до зеркального блеска. Вся эта работа была выполнена в Консерватории Искусств и Ремесл в Париже под руководством г. Корню, члена Института, делегата французской секции, и г. Броха, директора Международного Бюро, делегата Международного Комитета.

Отделка штрихов произведена в Международном Бюро г. Буано, ассистентом этого учреждения.

К прототипу прилагаются два образца, отрезанные от обоих концов его и приготовленные г. Лораном в Париже для изучения расширения по методу Физо.

Прототип заключен в специальный футляр, состоящий из сплошного деревянного цилиндра, в котором сделан продольный паз для помещения меры и который окружен прочной цилиндрической оболочкой из латуни, снабженной навинчивающейся крышкой.

О п и с а н и е.

Поперечное сечение меры имеет так называемую форму X, вписанного в квадрат, сторона которого равна 20 мм. Верхняя поверхность средней поперечины, на которой нанесены штрихи, совпадает с плоскостью нейтральных волокон. Она приведена, путем легкого утонения нижних выступов, к совпадению с средней высотой сечения.

На обоих концах, на отполированных участках, нанесено по три штриха, толщиной от 6 до 8 микронов, отделенных друг от друга промежутками в 0,5 мм. Расстояние между средними штрихами обеих этих групп по три штриха представляет длину меры. Положение оси определено группами из двух продольных, более толстых, черт, нанесенных на обоих участках на расстоянии 0,2 мм друг от друга.

На верхней поверхности выступов меры выгравированы:

слева—надпись А. 28,

справа—надпись В. 28.

На обоих образцах, приложенных к прототипу в отдельном ящике, выгравированы те же номера и буквы, как и на концах, от которых они отрезаны.

Химический состав.

Приготовление платины и иридия, служивших для получения сплава для слитка, из которого вытянуты стержни, производилось под наблюдением г. Стаса, члена Брюссельской Академии Наук, делегата Международного Комитета, Анри Сен Клер Девиллем, а после его смерти — Дебрэ, членами Французского Института, делегатами французской секции.

Анализ сплава произведен этими учеными на нескольких образцах взятых непосредственно из готовых мер. Согласно результатам этих анализов, сплав не содержит никаких следов иридия в свободном состоянии, не заключает в себе рутения, и содержит только чрезвычайно малое количество, от одной до двух десятитысячных, родия и одну десятитысячную железа. Количественное определение иридия дало в результате от 10,08 до 10,09%.

Г. Торноз, ассистент Международного Бюро, принял участие, под руководством г. Дебрэ, в анализах, выполненных в лаборатории специальных исследований при Высшей Нормальной Школе в Париже. После смерти г. Дебрэ, г. Торноз составил подробный отчет об этих анализах, помещенный в VII томе Трудов и Мемуаров Международного Бюро.

Измерения.

Коэффициент расширения. Измерение расширения было вверено г. Р. Бенуа, первому адъютанту Международного Бюро, в сотрудничестве с г. Ш. Гильомом, причисленным к Бюро.

Это определение произведено путем сравнения прототипа № 28 с международным прототипом \mathcal{M} в ванне компаратора для измерений расширения при 8 различных температурах, заключающихся между 0,2 и 37,9. Расширение международного прототипа \mathcal{M} было измерено ранее по абсолютному методу на компараторе для измерений расширения, а также по методу Физо.

Эти наблюдения привели к следующему результату:

Коэффициент расширения прототипа № 28 от 0° до t :

$$\alpha = 10^{-9} (8599 + 1,70 t),$$

где t означает температуру в градусах ртутного термометра Тоннело из стекла verre dur или:

$$\alpha = 10^{-9} (8650 + 1,00 T),$$

где T означает температуру по нормальной шкале, принятой для международной службы мер и весов (шкале водородного термометра).

Длина при нуле. Измерения длины произведены на компараторе Бруннера, в ванне с водой, под непосредственным руководством г. директора Броха, г. Буано и Исааксеном, ассистентами Бюро.

Национальные прототипы в числе 30 были сравнены между собою систематически в 11 группах, а именно: 5 групп по 6 мер и 6 групп по 5 мер; сверх того, каждый из них был сравнен, с одной стороны, с временным прототипом I_2 Международного Бюро, который был сравнен в 1882 г. с метром хранящимся в Архивах Франции, с другой стороны, с новым международным прототипом \mathcal{M} . Наконец, эти последние прототипы I_2 и \mathcal{M} были также сравнены между собою. В каждой группе сравнения были произведены во всех возможных сочетаниях. Каждое полное сравнение состояло из 4 отдельных сравнений в 4 положениях, какие могут занимать меры по отношению к обоим микроскопам и к наблюдателям.

Сочетание результатов этих 196 полных сравнений или 784 отдельных сравнений дает для метра № 28:
при температуре нуль:

$$\text{Прототип № 28} = 1 \text{ м} + 0,5 \text{ м} \pm 0,1 \text{ м}$$

Следовательно, уравнение прототипа будет:

$$\text{Прототип № 28} = 1 \text{ м} + 0,5 \text{ м} + 8,650 \text{ м} T + 0,00100 \text{ м} T^2 \pm 0,2 \text{ м}$$

где T означает температуру, выраженную в градусах нормальной шкалы, принятой для международной службы мер и весов.

Расстояние между вспомогательными штрихами. Эти расстояния были определены в воде при помощи микрометров компаратора Бруннера, наблюдая на каждом конце в отдельности оба расстояния и их сумму. Наблюдения повторялись два раза, под каждым из двух микро-скопов.

Если обозначить штрихи, начиная с конца А и до конца В прототипа, номерами 1, 2, 3 и 4, 5, 6, при чем номера 2 и 5 означают штрихи, определяющие собою метр, то для расстояний между ними получаются следующие значения:

Конец А, расстояние	[1—2]	= 500,1 м ± 0,1 м
	[2—3]	= 507,8 м ± 0,1 м
	[1—3]	= 1007,9 м ± 0,2 м
Конец В, расстояние	[4—5]	= 501,8 м ± 0,1 м
	[5—6]	= 496,1 м ± 0,1 м
	[4—6]	= 997,9 м ± 0,2 м

Международное Бюро мер и весов
(Павильон Бретейль, близ Севра).
28 сентября 1889 г.

Директор Бюро:
Д-р. Рене Бенуа.

Правильность удостоверяется:

По уполномочию Международного Комитета мер и весов:

Секретарь:

Д-р. Ад. Гиш.

Генерал маркиз де Мульгасен.

— Эталон хранится в кладовой эталонной лаборатории мер массы.

2. Комбинированный эталон метра, ярда и аршина.
Платино-иридиевая полусаженная мера П4.

Мера изготовлена фирмой Джонсон, Маттеи и К^о в Лондоне из сплава 90% платины и 10% иридия, сходного по составу и свойствам с тем сплавом, который применен для изготовления эталонов международного метра. Она представляет собою нарезную меру, имеющую форму стержня X-образного сечения. Общая длина стержня 1089,7 мм, вес—3480 г. На верхней плоскости раскосины стержня выгравировано:

1894 $\frac{\text{PtIr}}{\text{Полусажень}}$

На нейтральной плоскости стержня нанесена сложная система штрихов толщиной от 10 до 12 микронов, состоящая из делений метрической и дюймовой шкал. Во всю ее длину нарезаны параллельно оси стержня две продольные черты, отстоящие одна от другой приблизительно на 0,5 мм

(0,02 дюйма). На левом конце меры метрическая и дюймовая шкалы имеют общее начало, при чем нулевой штрих отстоит от левого конца стержня на 12,4 мм.

Дюймовая шкала полусажень отнесена к $16^{\circ},667$ стоградусной шкалы водородного термометра. Всех штрихов на дюймовой шкале 163. Метрическая шкала отнесена к 0° и содержит 90 штрихов.

На полусажень имеются следующие меры, симметричные относительно концов стержня:

Ярд,	закрывающийся между	3 и 39	дюймами
Аршин,	"	7 и 35	"
Метр,	"	$1/3$ и $10 1/3$	дециметрами.

Симметричный метр ($1/3-10 1/3$) дециметров был сличен с основными эталонами международного метра в Главной Палате Ф. И. Блумбахом и Н. И. Адамовичем в 1897 г. и в Международном Бюро мер и весов Ф. И. Блумбахом и Л. Моде (L. Maudet) в 1910 г. (Procès-verbaux des séances du Comité International des poids et mesures. Tome XI, p. 9, 1925).

Симметричный ярд [3—39] дюймов был сличен с основным прототипом английского ярда (Imperial Standard Yard) № 1 в 1895 г. в Standards Department в Лондоне Ченесом (H. J. Chaney), Д. И. Менделеевым и Ф. И. Блумбахом. (Протокол этого сличения помещен во „Временнике Главной Палаты мер и весов“. Часть 3, стр. 93—107, 1896).

Коэффициент линейного расширения симметричного метра ($1/3-10 1/3$) дециметров определен в 1898 году Ф. И. Блумбахом и Н. И. Адамовичем путем сравнения его с основным эталоном метра № 28 на компараторе Траутона и Симмса в Главной Палате мер и весов.

Изучение меры привело к следующим основным результатам:

Коэффициент линейного расширения симметричного метра ($1/3-10 1/3$) дециметров:

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

где T означает температуру по шкале международного водородного термометра.

Длина симметричного метра ($1/3-10 1/3$) дециметров при 0° :

$$П (1/3-10 1/3) \text{ дм} = 1 \text{ м} - 4,7^{\mu}.$$

Длина симметричного ярда [3—39] дюймов при $16^{\circ},667$ по шкале международного водородного термометра:

$$П [3-39] \text{ дм} = 1 \text{ ярду} - 9,1^{\mu}.$$

Длина симметричного аршина [7—35] дюймов при $16^{\circ},667$ по шкале международного водородного термометра:

$$П [7-35] \text{ дм} = 28 \text{ дм} - 6,6^{\mu}.$$

Длина полусажень [0—42] дюймов при $16^{\circ},667$ по шкале международного термометра:

$$П [0-42] \text{ дм} = 42 \text{ дм} - 8,1^{\mu}.$$

Полусажень П 4 описана во „Временнике Главной Палаты мер и весов“. Выпуск 1 (13), стр. 10—40, 1925. Она хранится в кладовой эталонной лаборатории мер массы.

3. Особая основная копия метра и аршина. Никкелевая копия международного метра, носящая знаки: „герб Московской губернии 1901 г.“ с нанесенной на ней копией нарезного аршина.

Эта мера отделана в Главной Палате мер и весов в 1901 году; стержень для нее изготовлен в 1895 году из возможно чистого никкеля. Она имеет Н-образное поперечное сечение, вписанное в квадрат $22\frac{1}{2} \times 22\frac{1}{2}$ мм². Длина стержня 1020 мм; вес его 2617 г.

На внутренней нейтральной плоскости меры нарезаны, по всей длине меры, две продольные линии. По всей плоскости нанесены штрихи через каждый миллиметр и нумерация через каждые десять миллиметров. Расстояние между двумя штрихами, отстоящими от каждого конца около 10 мм и обозначенными вблизи стоящими знаками М и 1М, посредине между продольными линиями, определяет длину метра.

Кроме того, на той же внутренней нейтральной плоскости, на расстоянии около 154,5 мм от каждого конца, нанесены два определяющих длину аршина поперечных штриха толщиной около 5 μ; вблизи этих штрихов нанесены знаки О и 1А. Расстояние между этими двумя штрихами, посредине между двумя продольными линиями, определяет длину аршина.

Длина метра (М—1М) при 0°:

$$(M-1M) = 1 \text{ м} - 23,9 \mu.$$

Длина аршина (О—1А) при $16\frac{2}{3}$ ° по стоградусному международному водородному термометру:

$$(O-1A) = 1 \text{ аршин} + 3,8 \mu.$$

Среднее линейное расширение этого аршина между 0° и 40° найдено (в 1901 г.) равным +0,009082 мм на каждый градус по стоградусному международному водородному термометру.

Мера описана во „Временнике Главной Палаты мер и весов“. Часть 6, стр. 95—96, 1903. Она хранилась с 1901 года по 1923 год в Московской Оружейной Палате; в настоящее время она хранится в кладовой эталонной лаборатории мер массы.

Масса.

4. Основной эталон килограмма. Платино-иридиевая копия международного килограмма, носящая знак № 12 и переданная России Первой Общей Конференцией мер и весов в 1889 году.

Описание меры и результаты ее изучения даны в нижеприведенном Сертификате Международного Бюро мер и весов.

Comité International des Poids & Mesures.

CERTIFICAT

du

Bureau International des Poids et Mesures

pour le

KILOGRAMME PROTOTYPE № 12,

attribué à l'Empire de Russie.

Ministère des Finances.

Ce Prototype a été construit par M. M. Johnson, Matthey & C^{ie}, à Londres, en alliage de platine iridié, à dix pour cent d'iridium, et en forme de cylindre dont la hauteur est égale au diamètre.

Il a été ensuite tourné et poli à l'émeri fin, et son ajustage définitif a été fait au Bureau international, après la détermination de son volume. Ces diverses opérations ont été exécutées par M. Collot, constructeur à Paris.

Description.

Le Kilogramme présente la forme d'un cylindre droit aux arêtes arrondies, de 39^{mm} de hauteur sur 39^{mm} de diamètre.

Il porte sur la surface cylindrique, aux deux tiers de la hauteur, le numero 12, marqué au brunissoir.

Il est placé sous une double cloche en verre, sur un support garni d'une plaque en cristal de roche. Durant le transport, il est fixé sur son support par des vis garnies de peau de chamois lavée spécialement pour cet usage; le tout est protégé par une enveloppe en cuivre.

Composition chimique.

La préparation du platine et de l'iridium qui ont servi à composer l'alliage du bloc dont les cylindres ont été construits a été contrôlée par M. Stas, Membre de l'Académie des Sciences de Bruxelles, Délégué du Comité international, par Henri Sainte-Claire-Deville et, après sa mort, par Debray, Membres de l'Institut de France, délégués de la Section française.

D'après les résultats de l'analyse, l'alliage ne contient aucune trace d'iridium à l'état libre, ne renferme pas de ruthénium et seulement une quantité extrêmement petite, un à deux dix-millièmes de rhodium, et un dix millième de fer. Le dosage de l'iridium a donné pour résultat 10,08 à 10,09 pour 100.

M. Tornøe, Aide de Bureau international a pris part, sous la direction de M. Debray, aux analyses de cet alliage exécutées dans le laboratoire des hautes études de l'École normale supérieure à Paris. Après la mort de M. Debray, M. Tornøe a rédigé sur ces analyses un rapport détaillé, publié dans le tome VII des Travaux et Mémoires du Bureau international.

Détermination du volume.

L'étude de la densité du Kilogramme a été confiée à M. Thiesen, Adjoint du Bureau international.

La détermination du volume a été faite avant l'ajustage définitif de la pièce, dont le poids excédait la valeur du kilogramme de 114^{mg},51. Dix déterminations ont été faites, à une température moyenne de 10°,1 dans trois échantillons différents d'eau distillée. On les a réduites à la température de la glace fondante, en adoptant comme coefficient de la dilatation cubique du platine iridié, entre 0° et t°:

$$k = 19^{-6} (25707 + 8,6 t)$$

où t désigne la température en degrés des thermomètres à mercure de M. Tonnelot, construits en verre dur; ou bien:

$$k = 10^{-6} (25859 + 6,5 T)$$

où T désigne la température exprimée d'après l'échelle normale adoptée pour le service international des Poids et Mesures (échelle du thermomètre à hydrogène).

De la valeur trouvée pour le volume à zéro:

$$46^{\text{ml}},4122 \pm 0^{\text{ml}},0004$$

qui correspond à une densité de

$$21,5485$$

on a déduit, pour le Kilogramme définitivement ajusté, la valeur:

Volume du Kilogramme № 12

$$46^{\text{ml}},407$$

Masse du Kilogramme.

Les comparaisons des Prototypes entre eux ont été faites, par M. Thiesen, Adjoint du Bureau, au moyen de la Balance Ruerprecht № 1, et par M. Kreichgauer, Aide du Bureau, au moyen de la Balance Ruerprecht № 5. Les comparaisons avec le Prototype international ont été faites par M. Thiesen au moyen de la Balance Bunge.

Les 42 Prototypes ont été comparés entre eux en 6 groupes de 7 kilogrammes chacun et en 7 groupes de 6 kilogrammes, et enfin chaque kilogramme a été comparé avec le nouveau Prototype international du kilogramme \mathcal{K} . Ce dernier, comparé en 1880 avec le Kilogramme des Archives, a été trouvé identique à ce Kilogramme, dans les limites des erreurs d'observation.

Dans chaque groupe, les comparaisons ont été faites dans toutes les combinaisons possibles.

Chaque comparaison complète comprenait quatre pesées individuelles; entre chaque pesée, la charge de la Balance était modifiée par l'addition de poids auxiliaires ou par le changement des plateaux auxiliaires en cristal de roche sur lesquels les kilogrammes reposaient pendant la pesée.

Les résultats combinés de ces 273 comparaisons complètes ou 1092 pesées individuelles ont donné, par le calcul de compensation de tout le système, pour le Kilogramme № 12 l'équation suivante :

$$\text{Prototype № 12} = 1^{\text{kg}} + 0^{\text{mg}},068 \pm 0^{\text{mg}},002.$$

BUREAU INTERNATIONAL
des Poids et Mesures,
(Pavillon de Breteuil, près Sèvres)
le 28 Septembre 1880.

Le Directeur de Bureau
D^r René Benoit.

Certifié conforme :

Pour le Comité International des Poids et Mesures,

Le Secrétaire,
D^r Ad. Hirsch.

Le Président,
G^{ral} Marquis de Mulhacén.

Перевод.

Международный Комитет мер и весов

СЕРТИФИКАТ

Международного Бюро мер и весов
для

ПРОТОТИПА КИЛОГРАММА № 12.

переданного Министерству Финансов Российской Империи.

Этот прототип в форме цилиндра, высота которого равна диаметру, был изготовлен г. Джонсон, Маттеи и К^о в Лондоне из платино-иридиевого сплава, содержащего десять процентов иридия.

Затем он был обточен и отполирован мелким наждаком, а окончательная его подгонка была произведена в Международном Бюро после определения его объема. Все эти операции были выполнены Парижским конструктором г. Колло.

Описание.

Килограмм имеет форму прямого цилиндра с закругленными ребрами, высотой в 39 мм и 39 мм диаметром.

На цилиндрической поверхности, на двух-третях высоты, нанесен при помощи полировальника номер 12.

Он хранится под двумя стеклянными колпаками, на подставке, снабженной пластинкой горного хрусталя. Во время пересылки он прикрепляется к подставке посредством винтов, покрытых замшей, специально промытой для этой цели. Все это защищено медным футляром.

Химический состав.

Приготовление платины и иридия, служивших для получения сплава для слитка, из которого приготовлены цилиндры, производилось под наблюдением г. Стаса, члена Брюссельской Академии Наук, делегата Международного Комитета, Анри Сен Клер Девиллем, а после его смерти—Дебрэ, членами Французского Института, делегатами французской секции.

Согласно результатам анализа, сплав не содержит никаких следов иридия в свободном состоянии, не включает в себе рутения и содержит только чрезвычайно малое количество, от одной до двух десятитысячных, родия и одну десятитысячную железа. Количественное определение иридия дало в результате от 10,08 до 10,09^{0/10}.

Г. Торноэ, ассистент Международного Бюро, принял участие под руководством г. Дебрэ, в производстве анализа этого сплава, выполненного в лаборатории специальных исследований при Высшей Нормальной Школе в Париже. После смерти г. Дебрэ, г. Торноэ составил подробный отчет об этих анализах, помещенный в VII томе Трудов и Мемуаров Международного Бюро.

Определение объема.

Изучение плотности килограмма было поручено г. Тизену, адъютанту Международного Бюро.

Определение объема было произведено до окончательной подгонки гири, вес которой превосходил величину килограмма на 114,51 мг. Было произведено десять определений при средней температуре в 10°,1, в трех различных порциях дистиллированной воды. Они были приведены к температуре тающего льда, принимая коэффициент кубического расширения иридийной платины между 0° и t° равным:

$$k = 10^{-9} (25707 + 8,6t),$$

где t означает температуру в градусах ртутных термометров г. Тоннело изготовленных из стекла verre dur, или:

$$k = 10^{-9} (25859 + 6,57T),$$

где T означает температуру, выраженную по нормальной шкале, принятой для международной службы мер и весов (шкале водородного термометра).

Из найденного значения для объема при нуле:

$$46,4122 \text{ мл} \pm 0,0004 \text{ мл},$$

которое соответствует плотности

$$21,5485,$$

выведено для окончательно подогнанного килограмма значение:

Объем килограмма № 12

$$46,407 \text{ мл}.$$

Масса килограмма.

Сравнение прототипов между собой были произведены г. Тизеном, адъюнктом Бюро, на весах Рупрехта № 1 и г. Крейхгауэром, ассистентом Бюро, на весах Рупрехта № 5. Сравнения с международным прототипом были произведены г. Тизеном на весах Бунге.

Все 42 прототипа были сравнены между собой в 6 группах по 7 килограммов каждая и в 7 группах по 6 килограммов, и, наконец, каждый килограмм был сравнен с новым международным прототипом килограмма № 12. Этот последний, сравненный в 1880 г. с архивным килограммом, был найден тождественным с этим килограммом в пределах ошибок наблюдения.

В каждой группе сравнения были выполнены во всех возможных сочетаниях.

Каждое полное сравнение содержало четыре отдельных взвешивания; между каждыми двумя взвешиваниями нагрузка весов изменялась путем добавления вспомогательных гирь или путем замены вспомогательных подставок из горного хрусталя, на которых находились килограммы во время взвешивания.

Сочетание результатов этих 273 полных сравнений или 1092 отдельных взвешиваний дало при помощи сглаживания ошибок всей системы для килограмма № 12 следующее уравнение:

$$\text{Прототип № 12} = 1 \text{ кг} + 0,068 \text{ мг} + 0,002 \text{ мг.}$$

Международное Бюро мер и весов
(Павильон Бретейль, близ Севра).
28 сентября 1889 г.

Директор Бюро

Д-р Рене Бенуа.

Правильность удостоверяется:

По уполномочию Международного Комитета мер и весов

Секретарь

Д-р Ад. Гириш.

Председатель

Генерал маркиз де Мульгасен.

Эталон хранится в кладовой эталонной лаборатории мер массы.

5. Основная копия килограмма. Платино-иридиевый килограмм работы Эртлинга, имеющий обозначение $R_1 \frac{\text{PtIr}}{1 \text{ кг}}$. Гиря изготовлена в 1876 г. фирмой Джонсон, Маттеи и К° в Лондоне из сплава 90% платины и 10% иридия. Она имеет форму прямого цилиндра, диаметр которого равен 39,2 мм, высота — 39,6 мм. На верхней части боковой поверхности цилиндра имеется желобчатая кольцеобразная выемка шириной 3,81 мм и глубиной 7,4 мм. На верхнем основании вырезана надпись: „1 kilo“.

Сравнение гири $R_1 \frac{\text{PtIr}}{1 \text{ кг}}$ с основным эталоном килограмма № 12 и определение ее плотности было произведено в 1895 году Ф. П. Завадским и В. Д. Сапожниковым, при чем найдено:

$$\text{Масса } R_1 = 1 \text{ кг} - 2,9334 \text{ мг}$$

$$\text{Плотность гири: } D_0 = 21,42838 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

$$\text{Объем гири: } V_1 = 46,6887 \text{ мл} + 0,001216 (t - 18) \text{ мл.}$$

Последнее сличение гири $R_1 \frac{\text{Pflg}}{1 \text{ кг}}$ с основным эталоном килограмма № 12 было произведено в 1924 г. Я. С. Безиковичем и И. Д. Менделеевым, при чем найдено:

$$\text{Масса } R_1 = 1 \text{ кг} - 2,931 \text{ мг}$$

Описание гири и результаты ее сличения напечатаны во „Временнике Главной Палаты мер и весов“. Часть 1, стр. 91—92, 1894. Часть 2, стр. 146, 1895 и в „Отчете о деятельности Главной Палаты мер и весов за время с 1 октября 1924 г. по 1 октября 1925 г.“ № 46 1926.

Гиря хранится в кладовой эталонной лаборатории мер массы.

Время.

6. Основной эталон времени. Единица времени—секунда и абсолютное время обеспечиваются нормальными часами, исполняющими роль эталона времени. Таким эталоном в Главной Палате мер и весов служит группа из следующих четырех часов:

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

2) Средние часы Рифлера № 68, такой же конструкции и с такими же приспособлениями, как и первые; маятник № 186. Часы приобретены в 1903 г.; идут при постоянной плотности воздуха. Условное обозначение: R_{68}^{\odot} .

3) Звездные часы Рифлера № 81, такой же конструкции и с такими же приспособлениями, как и первые; маятник № 191. Часы приобретены в 1905 г.; идут при постоянной плотности воздуха. Условное обозначение: R_{81}^* .

4) Средние часы Рифлера № 186, такой же конструкции и с такими же приспособлениями, как и первые; маятник № 704. Идут при постоянной плотности воздуха. Условное обозначение R_{186}^{\odot} . До 1923 г. эти часы находились в Дворце Искусств (быв. Зимнем дворце) на парадной лестнице.

Сравнение часов производится ежедневно в 10^{h} среднего Гринического времени посредством хронографа Гиппа.

Поправки часов определяются при помощи астрономических наблюдений 10—12 звезд времени ($20^\circ < \delta < 68^\circ$) и 3—4 близполюсных звезд в верхней и нижней кульминациях. Во время звездных наблюдений рабочими часами служат часы R_{67}^* . Поправки остальных часов выводятся из их сравнений с часами R_{67}^* , ближайших к моменту астрономических наблюдений.

Для вычисления координат звезд с 1923 г. по 1925 г. включительно служил каталог Босса (Lewis-Boss, Preliminary General Catalogue of 6188 Stars for the Epoch 1900, Washington, 1910). С 1926 года принят каталог Эйхельбергера (Eichelberger, Positions and Proper Motions of 1504 standard Stars, Astronomical Papers of the American Ephemeris, Vol. X, part I). При переходе со звездного времени на среднее приняты таблицы солнца Ньюкомба.

Средняя ошибка звездных наблюдений равна $\pm 0,02''$.

Средняя ошибка сравнения часов „ „ $\pm 0,005''$.

Для получения Гринического времени принято значение долготы Главной Палаты (центр столба пассажного инструмента Обсерватории в здании № 3):

$$\lambda = 2^{\text{h}} 1^{\text{m}} 15^{\text{s}}, 955 \text{ к востоку от Гринича.}$$

Описание часов, их исследование и приемы установления и хранения точного времени опубликованы во „Временнике Главной Палаты мер и весов“. Выпуск 1 (13), стр. 41—119. 1925.

Все часы установлены в центральном подвале эталонной лаборатории времени.

Температура.

7. Основной эталон международной водородной шкалы температур. Водородный термометр, изготовленный в 1894 году фирмой Галац в Париже, изученный в пределах от 0° до 100° в Главной Палате мер и весов в 1897—1898 гг. и описанный во „Временнике Главной Палаты мер и весов“. Часть 4, стр. 57—80, 1899.

Сравнения его показаний с показаниями образцовых ртутных термометров, снабженных сертификатами Международного Бюро мер и весов, привели к заключению, что шкала водородного термометра Главной Палаты должна быть признана тождественной с международной водородной шкалой.

Водородный термометр установлен в термометрической лаборатории.

8. Основной эталон термометрической лаборатории для температур от 0° до 100° С. Термометр Тоннело № 4532, изготовленный в 1886 году по поручению хранителя Депо мер и весов Глухова и изученный в Международном Бюро мер и весов в 1887 году.

Термометр приготовлен из стекла *verre dur* и имеет непрерывную шкалу от $-3,5^{\circ}$ С до $+103,7^{\circ}$ С; разделен на $0,1^{\circ}$. Его показания сравнены с показаниями водородного термометра Главной Палаты в пределах от 0° до 30° С.

Сертификат Международного Бюро мер и весов к термометру от 26 мая 1887 года напечатан во „Временнике Главной Палаты мер и весов“. Часть 2, стр. 98—104. 1895.

Термометр хранится в термометрической лаборатории.

9. Основной эталон термометрической лаборатории для температур от 0° до 700° С. Два платиновых термометра компенсационного типа в фарфоровых трубках длиной 40 см, обозначенные номерами CSJ 2247 и CSJ 2382, приобретенные в 1912 году от Кембриджской Компании научных инструментов и градуированные Н. А. Марениным в 1923—1924 гг. по трем точкам: 0° (температура таяния льда), 100° С (температура кипения воды под нормальным давлением) и 444,5° С (температура кипения серы под нормальным давлением).

Сопротивления термометров равны:

$$\begin{aligned} \text{№ CSJ 2247: } R_0 &= 2,5701 \text{ ома} & R_{100} &= 3,5717 \text{ ома} \\ \text{№ CSJ 2382: } R_0 &= 2,5712 \text{ „} & R_{100} &= 3,5720 \text{ „} \end{aligned}$$

Для определения температуры принята формула Каллендара:

$$t = t_p + \delta \left(\frac{t}{100} - 1 \right) \frac{t}{100}$$

где t — температура по международной водородной шкале, t_p — температура по шкале платинового термометра, определяемая формулой:

$$t_p = 100 \frac{R - R_0}{R_{100} - R_0}$$

и δ — коэффициент, величина которого из опытов в парах кипящей серы найдена:

$$\text{для № CSJ 2247: } \delta = 1,4909.$$

$$\text{„ № CSJ 2382: } \delta = 1,4901.$$

Термометры описаны во „Временнике Главной Палаты мер и весов“. Выпуск 2 (14) стр. 69—94. 1926. Они хранятся в термометрической лаборатории

Электрическое сопротивление.

10. Основной эталон международного ома. Группа из шести ртутных образцов международного ома, изготовленных А. Н. Георгиевским и М. Ф. Маликовым в 1909—1913 гг., согласно спецификации Лондонской Международной Конференции об электрических единицах и эталонах 1908 г.

Трубки для образцов приготовлены из французского стекла verre dur. Основные величины, характеризующие образцы, следующие:

	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3	Образец № 4	Образец № 5	Образец № 6
Длина трубки при 0° в м.м.	993,146	1000,050	977,556	1044,477	935,649	1045,339
Масса ртути, наполняющей трубку при 0°, в граммах	12,63082	12,80242	12,23347	13,96313	11,20855	13,98698
Среднее сечение трубки при 0° в м.м. ²	0,937923	0,941508	0,920638	0,983893	0,889915	0,983519
Поправка на неравномерность сечения	1,000080	1,000037	1,000031	1,000056	1,000021	1,000032
Поправка на кривизну оси трубки	1,000000	1,000001	1,000002	1,000001	1,000001	1,000001
Сопротивление ртути, наполняющей трубку при 0°, в международных омах	0,998837	0,999148	0,999108	0,999319	0,998965	0,999240
Переходное сопротивление в международных омах	0,000887	0,000875	0,000885	0,000851	0,000907	0,000861
Сопротивление образца при 0° в международных омах	0,999704	1,000023	0,999993	1,000170	0,999872	1,000101

Среднее арифметическое из вычисленных сопротивлений образцов, определяющее величину единицы сопротивления, равно 0,999977 международного ома.

Электрические сравнения ртутных образцов друг с другом произведены в 1913 г. и дали следующие результаты:

Обозначения образцов	Сопротивления образцов при 0° в международных омах		Δ набл.-вычисл.
	Наблюдаемые	Вычисленные	
1	0,999728	0,999704	+ 2,4 × 10 ⁻⁵
2	1,000046	1,000023	+ 2,3
3	0,999994	0,999993	+ 0,1
4	1,000143	1,000170	- 2,7
5	0,999861	0,999872	- 1,1
6	1,000091	1,000101	- 1,0
Среднее	0,999977	0,999977	± 1,0 × 10 ⁻⁵

Международные сравнения, произведенные в 1913 г. при помощи манганиновых катушек, разосланных Английской Национальной Физической Лабораторией в метрологические учреждения различных государств, дали

следующие результаты для ртутных образцов, изготовленных согласно спецификации Лондонской Конференции:

Ом Национальной Физической Лаборат. (Англия)	= 1,000005	междунар. ома
„ Главной Палаты мер и весов (СССР)	= 1,000000	„
„ Бюро Стандартов (С. А. Соединен. Штаты)	= 0,999995	„
„ Электротехн. Лаборатории в Токио (Япония)	= 1,000001	„

Среднее . = 1,000000 междунар. ома

Ртутные образцы описаны во „Временнике Главной Палаты мер и весов". Часть 12, стр. 1—216, 1918. Они хранятся в кладовой эталонной электрической лаборатории.

11. Основные копии международного ома. Две манганиновых катушки, изготовленные О. Вольфом в 1908 году и обозначенные номерами: М4044 и М4046. Катушки снабжены потенциальными проводами и всегда находятся в вазелиновом масле.

Изменение сопротивлений с температурой изучено в пределах от 18° С до 30° С и найдено равным:

$$\text{Для М4044: } R_t = R_{18} + [19,4(t-18) - 0,47(t-18)^2] \times 10^{-6}$$

$$\text{Для М4046: } R_t = R_{18} + [18,6(t-18) - 0,42(t-18)^2] \times 10^{-6}$$

Сопротивление катушек было определено в 1913 г. и найдено равным при температуре 18° С.

$$\text{М4044} = 1,000011 \text{ международного ома}$$

$$\text{М4046} = 1,000012 \text{ „ „}$$

Сравнение между собой катушек дало следующие результаты:

В октябре 1913 г. М4044 — М4046	= +0,2 × 10 ⁻⁵	междунар. ома
В декабре 1915 г. „ „	= +0,1 × 10 ⁻⁵	„ „
В феврале 1923 г. „ „	= +0,3 × 10 ⁻⁵	„ „
В марте 1925 г. „ „	= +0,9 × 10 ⁻⁵	„ „

Катушки хранятся в эталонной электрической лаборатории.

Электродвижущая сила.

12. Основной эталон международного вольта. Группа из двадцати нормальных элементов Вестона, изготовленных в 1910 году А. Б. Ферингер в Национальной Физической Лаборатории (Англия) согласно спецификации Лондонской Международной Конференции об электрических единицах и эталонах 1908 года.

Основные данные, относящиеся к изготовлению нормальных элементов и результаты их сравнений с 1910 по 1925 год приведены в таблице (стр. 19).

Средняя величина электродвижущей силы всей эталонной группы нормальных элементов принята равной 1,01830 международного вольта на основании сравнения с элементами Национальной Физической Лаборатории, электродвижущая сила которых была установлена по серебряным вольтаметрам метрологических лабораторий Англии (National Physical Laboratory), Германии (Physikalisch-Technische Reichsanstalt), Франции (Laboratoire Central d'Electricité) и С. А. Соединенных Штатов (Bureau of Standards) при совместной работе их представителей в Bureau of Standards в Вашингтоне в 1910 году, а также на основании непосредственных определений их электродвижущей силы по серебряному вольтаметру в 1910 и 1912 годах.

№ эталона	Время пригот. ления	Способ приготовления			Внутреннее сопро- твление в омк. к-1911 г.	Электровинтовая сила при 20° С в международных вольтах																							
		Hg ₂ SO ₄	Части	Состав		Амальгама	Получение	CdSO ₄	1910 г. Октябрь А. В. Ферингер	1911 г. Июнь А. В. Ферингер	1912 г. Сентябрь А. В. Ферингер	1913 г. Январь А. В. Ферингер	1914 г. Октябрь А. Г. Голдман	1920 г. Ноябрь В. С. Табар	1922 г. Январь Ю. Н. Вгоров	1923 г. Март М. Ф. Манков	1924 г. Июль Е. С. Чурава	1926 г. Июль Е. С. Чурава											
3	31/VIII 1910.	Качественно, после медицинского роста вора электролитиче- ской соли в горю- чей серной кисло- те Л. В. Ферингер 30/III—1910 г.	-	10%	Натуральная амальгама в ртути в водной бане	N. P. L.	248	29	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28										
4	27						29	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28							
5	27						29	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28					
7	1007						27	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28				
10	717						28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28				
14	691						30	29	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30			
16	2/IX 1910.						То же А. В. Омари 30/III—1910 г.	-	-	Электролитиче- ский	N. P. L.	28	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29				
18	988	29	29	29	29	29						29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29				
19	1073	29	29	29	29	29						29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29			
20	1083	30	29	30	30	30						30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30		
23	885	30	30	30	30	30						30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30		
24	890	30	30	30	30	30						30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30		
25	773	29	29	29	29	29						29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29		
28	7/IX 1910.	То же А. В. Ферингер 7/IX—1910 г.	-	-	12,5% Натуральная амальгама в ртути в водной бане	От Калий- формы образован таким же						35	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34				
29	753											35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
30	885											35	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
32	859						27	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28			
33	1200						29	28	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29		
38	752	36	35	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36							
41	875	30	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29							
Среднее							1,01828	1,01830	1,01828	1,01828	1,01828	1,01828	1,01828	1,01828	1,01828	1,01828	1,01828	1,01828	1,01828	1,01828	1,01828	1,01828	1,01828						

Нормальные элементы описаны во „Временнике Главной Палаты мер и весов“. Выпуск 1 (13), стр. 130—156. 1925. Они хранятся в эталонной электрической лаборатории.

Сила света.

13. Основной эталон международной свечи. Совокупность двадцати четырех электрических пустотных ламп накаливания, состоящая из двух групп:

1) Первая (английская) группа из двенадцати ламп, имеющих обозначения от 1-А-1 до 1-А-12 и приобретенных от завода „Osram“ фирмы General Electric Co. Ltd (в Англии), снабжена сертификатами National Physical Laboratory (в Англии) от 14-го января 1925 года.

2) Вторая (французская) группа из шести ламп, имеющих обозначения от 1-Ф-1 до 1-Ф-6 и приобретенных от Laboratoire Central d'Electricité (во Франции), и из шести ламп имеющих обозначения от 1-Г-1 до 1-Г-6 и приобретенных от завода „Osram“ G. m. b. H. Kommanditgesellschaft (в Германии), снабжена сертификатами Laboratoire Central d'Electricité от 18—30-го января 1924 года и сертификатами National Physical Laboratory от 12-го марта 1924 года.

Сравнение ламп с эталонами международной свечи National Physical Laboratory и Laboratoire Central d'Electricité произведено в соответствии с постановлением Международной Осветительной Комиссии 1921 года о хранении международной свечи.

Лампы исследованы в 1925 году П. М. Тиходеевым при участии Е. Д. Девятковой и А. М. Сабуренкова; полученные данные сведены ниже в таблицу.

Первая (английская) группа основного эталона международной свечи.

Обозначение лампы	Сила света; международные свечи.	Напряжение; вольты	Сила тока; амперы.	Удельное потребление мощности; ватты 1 м. свечу	Вещество нити
1-А-1	20,06	101,00 ₀	0,2858 ₀	1,439	Вольфрам
1-А-2	19,84	100,00 ₀	0,2873 ₁	1,448	„
1-А-3	20,54	102,00 ₀	0,2871 ₀	1,426	„
1-А-4	20,08	101,50 ₀	0,2869 ₀	1,450	„
1-А-5	20,00	100,50 ₀	0,2869 ₁	1,456	„
1-А-6	20,33	101,00 ₀	0,2881 ₂	1,431	„
1-А-7	19,38	99,00 ₀	0,2864 ₁	1,463	„
1-А-8	19,73	101,00 ₀	0,2856 ₁	1,462	„
1-А-9	21,13	102,50 ₀	0,2884 ₁	1,399	„
1-А-10	20,71	101,50 ₀	0,2880 ₁	1,412	„
1-А-11	20,06	100,00 ₀	0,2872 ₂	1,432	„
1-А-12	20,34	101,50 ₀	0,2892 ₂	1,443	„

Вторая (французская) группа основного эталона международной свечи.

Обозначение лампы	Сила света; международные свечи	Напряжение; вольты	Сила тока; амперы	Удельное потребление мощности ватты 1 м. свечу	Вещество нити
1-Ф-1	10,09	106,70 ₀	0,3724 ₀	3,96 ₀	Уголь
1-Ф-2	49,5 ₀	106,30 ₀	0,6332 ₀	1,35 ₀	Вольфрам
1-Ф-3	40,2 ₀	105,10 ₀	0,6368 ₀	1,36 ₀	"
1-Ф-4	19,74	103,00 ₀	0,2915 ₀	1,522	"
1-Ф-5	19,42	103,00 ₀	0,2920 ₀	1,549	"
1-Ф-6	20,45	107,60 ₀	0,6947 ₀	3,65 ₀	Уголь
1-Г-1	8,55	49,80 ₀	0,2679 ₀	1,52 ₀	Вольфрам
1-Г-2	8,44	49,00 ₀	0,2675 ₀	1,55 ₀	"
1-Г-3	16,97	52,10 ₀	0,4044 ₀	1,242	"
1-Г-4	17,17	52,30 ₀	0,4055 ₀	1,235	"
1-Г-5	25,44	49,10 ₀	0,6516 ₀	1,258	"
1-Г-6	25,66	49,20 ₀	0,6523 ₀	1,251	"

За точное значение международной свечи принято среднее арифметическое из ее значений, воспроизводимых каждой эталонной лампой при условии, что сила света берется в направлении, перпендикулярном к плоскости светящихся нитей. Эта сила света вычисляется по освещенности, которая измерена на перпендикулярной к рассматриваемому направлению плоскости, отстоящей на таком расстоянии от светящихся нитей лампы, на каком эта освещенность равняется 15 люксам.

Точность значения международной свечи, воспроизводимой всем основным эталоном, составляет $\pm 0,03\%$.

Результаты исследования эталонных ламп напечатаны во «Временнике Главной Палаты мер и весов». Выпуск 2 (14), стр. 160—194, 1926 г.

Эталонные лампы хранятся в кладовой фотометрической лаборатории.

О ВЕСЕ ЛИТРА ВОЗДУХА.

А. Н. Доброхотов.

Д. И. Менделеев в своей статье „О весе литра воздуха“, помещенной в 1-й части „Временника Главной Палаты“ (1894 г., стр. 57—88), подверг критическому разбору все известные в то время наиболее полные исследования этого вопроса, произведенные выдающимися экспериментаторами, как-то: Regnault, Jolly, Leduc и Rayleigh, с целью, как он говорит, „остановиться на каком-либо наиболее вероятном числе окончательно, чтобы можно было со временем, когда получатся более несомненные числа, сделать надлежащие исправления“. Пересчитав все наблюдения упомянутых исследователей и введя некоторые поправки в полученные ими результаты, Д. И. Менделеев не решился дать предпочтение тому или другому числу, а счел наиболее целесообразным принять среднее из них за наиболее достоверное и принял, что „вес литра воздуха при нормальных его условиях¹⁾ и при напряжении силы тяжести равном 1 м/сек^2 , равен $0,131844 \text{ г}$ грамма, где g — напряжение силы тяжести в данном месте“. Для работ в Главной Палате, на основании указанного вывода, Менделеев принял напряжение силы тяжести в Петербурге, по наблюдениям Стебницкого, равным $9,8188 \text{ м/сек}^2$, а следовательно вес литра воздуха при нормальных условиях:

$$F = 0,131844 \times 9,8188 = 1,29455 \text{ грамма.}$$

Это число в последующих работах Главной Палаты, при производстве точных сличений эталонных гирь, и принималось, как исходное при вычислении веса литра воздуха, находящегося в весах, при данных условиях температуры, давления и влажности.

В настоящее время появились те более точные наблюдения, которые предвидел Д. И. Менделеев, давая свое значение веса литра воздуха в условиях Главной Палаты. Профессор Парижского Университета А. Leduc, предварительные работы которого, произведенные в 1892 г., были приняты во внимание Д. И. Менделеевым в указанной выше статье о весе литра воздуха, произвел новое детальное исследование этого вопроса, и подробный отчет о работе напечатан в трудах Международного Бюро мер и весов²⁾.

В предисловии к названному труду проф. Leduc'a Директор Международного Бюро Ch.-Ed. Guillaume говорит: „Конечно, изменения плотности воздуха, приведенные к нормальным условиям, незначительны, — порядка самое большее нескольких десятитысячных частей, — но с этими незначительными изменениями нельзя не считаться при точных взвешиваниях. Поэтому, вопросу, коему посвящены чрезвычайно обстоятельные исследования Edw. —

¹⁾ Нормальными условиями считаются: состав воздуха — средний, сухой, без паров воды и CO_2 , температура его 0° , давление 760 мм ртутного столба, приведенного к 0° .

²⁾ Travaux et Mémoires du Bureau International des poids et mesures. t. XVI. 1917.

W. Morley, Rayleigh, A. Leduc'a, Ph.-A. Guye и их учеников, отводится место в трудах Международного Бюро, в виде особого мемуара, который дает исходное значение величины, необходимой при введении поправки на вес вытесненного воздуха. Вывод, к которому пришел проф. Leduc, оказался в высшей степени для нас благоприятным. Значение, которое он получил для массы литра воздуха в Париже, при нормальных условиях, равно 1,2932, а число Regnault, после введения в него поправок Voisch'a (первый Директор Международного Бюро), равно 1,29321. Поэтому нам нет надобности теперь вводить какие-либо исправления в наблюдения, произведенные до настоящего времени".

Для суждения об обстановке, в которой производились исследования проф. Leduc'ом, и о тех условиях, которые гарантируют получение наиболее точных результатов, ниже приводятся вкратце наиболее существенные из них.

1. Для взвешивания газов проф. Leduc применял тот же способ, что и Regnault, но ввел в него существенно важные усовершенствования, которые дают возможность получать совершенно надежные данные, не вызывающие в настоящее время никаких сомнений в их достоверности. Прежде всего Leduc изменил форму баллонов для взвешивания газов, применявшуюся Regnault и дававшую повод к некоторым сомнениям относительно точности результатов, получаемых при пользовании такими баллонами. Вместо больших (емкостью около 10 литров) и тяжелых (около 1,5 кг) баллонов Regnault, снабженных массивными металлическими кранами, связанными с узким горлом баллона при помощи мастики, Leduc применил стеклянные баллоны значительно меньшего объема (около 2,5 литра) и веса (около 250 г), с стеклянными же кранами припаянными к баллону. Такая замена дала возможность устранить неизбежные ошибки в работах Regnault, происходившие: от гигроскопичности мастики в кранах, удерживавшей в себе неопределенное количество воды после вынимания баллона из льда; от значительного и неопределенного изменения веса баллона вынутого из льда, после вытирания его большой поверхности досуха; от затруднительности получить надежно точный вес столь большой и объемистой массы. Вследствие указанных изменений обстановки опыта Leduc имел возможность взвешивать свои небольшие баллоны на весах для нагрузки 500 граммов с большой и надежной точностью.

2. Regnault при своих определениях веса литра воздуха пренебрегал ошибкой результата взвешивания, происходящей от изменения объема баллона, когда из него выкачан воздух и он находится под давлением окружающей атмосферы. Между тем влияние этого изменения объема на вес баллона в воздухе настолько значительно, что принять его во внимание необходимо. Leduc предварительным опытом определил величину изменения объема своего баллона, и она оказалась равной приблизительно 0,5 мл, что отвечает изменению веса баллона в воздухе приблизительно на 0,65 мг.

3. Серьезное внимание обращено было Leduc'ом на весы и гири. Как весы, так и помещение для подвешиваемых баллонов были окружены металлической клеткой, способствующей сохранению возможно постоянных температурных условий при взвешивании. Отчет колебаний весов производился издали, при помощи трубы и отраженного изображения шкалы. Гири для взвешивания, платинированные и платиновые, были предварительно тщательно выверены.

4. Для определения упругости газа в баллоне, которая для получения надежного результата должна быть определена с высокой степенью точности (не менее 0,01 мм ртутного столба), Leduc усовершенствовал баро-

манометр Regnault. Особенность прибора Leduc'a состоит в том, что манометрическая трубка его снабжена краном, благодаря чему трубку эту можно держать всегда наполненной ртутью и открывать кран только на время наблюдения упругости газа в баллоне, соединенном с манометром. Такой метод наблюдения дает большую уверенность в точном определении температуры ртути, так как и в барометрической и в манометрической трубках, имеющих одинаковый диаметр и находящиеся одна возле другой, ртуть всегда находится в совершенно тождественных условиях.

Для отчета нижнего уровня ртути в баро-манометре Leduc применил особую добавочную S-образную трубку такого же диаметра, как и трубка барометрическая. Эта добавочная трубка дает возможность производить отчет верхнего и нижнего уровней ртути в совершенно тождественных условиях, способствующих получению более надежных результатов. Отчеты уровней ртути в барометрической и манометрической трубках производятся при помощи катетометра (специально сконструированного по указаниям Leduc'a), дающего возможность делать отчеты с точностью до 0,01 мм, по линейке, предварительно тщательно прокалиброванной. Визирные точки на уровнях ртути точно улавливаются в трубке катетометра при помощи особых передвижных экранов с черными и белыми горизонтальными полосами, помещенных с задней стороны трубки и сильно освещаемых во время наблюдения.

Для определения температуры ртути имеется еще добавочная трубка такого же диаметра, как и другие трубки прибора, помещаемая рядом с трубкой барометрической, приблизительно на половине ее высоты. С обеих сторон доски, на которой монтирован весь прибор, прикреплены еще две металлические пластинки, края коих выступают из плоскости доски и таким образом защищают прибор от резких движений окружающего его воздуха.

5. Leduc обратил внимание на избежание ошибки при взвешивании баллона, когда его приходится досуха вытирать после погружения в тающий лед. У Regnault, как видно из его наблюдений, изменение веса баллона, после двукратного вытирания, достигало 10 мг. Во избежание такой ошибки Leduc поступал следующим образом. После выкачивания воздуха из баллона, этот баллон (а также другой ему совершенно подобный и служащий противовесом) обтирался чистым (не мохнатым) полотенцем, слегка влажным, и подвешивался к коромыслу весов. Определение положения равновесия производилось только на другой день. Затем баллон наполнялся испытуемым воздухом, охлаждался до 0° в тающем льде и вновь, после вытирания, взвешивался. Такая же операция производилась еще раз, после второго выкачивания воздуха из баллона. Вес воздуха, наполняющего баллон, определялся как среднее из 1 и 2 наблюдений, а затем 2 и 3-го. Очевидно, что, при правильном ходе наблюдений, вес воздуха, полученный из 2 и 3 наблюдений, должен получиться больше, чем из наблюдений 1 и 2-го, так как в последнем случае вычитаемое (вес пустого баллона) должно быть меньше, чем в первом случае, вследствие того, что теперь баллон подвергся трехкратному обтиранию полотенцем. Если взять среднее из двух полученных значений, то ошибка при определении веса газа в баллоне, происходящая от вытирания его стенок, сведется до минимума. Если вес полученный из 2 и 3 наблюдений окажется случайно меньшим, чем вес из 1 и 2-го, то это наблюдение надлежит исключить, как ошибочное, вызванное случайным попаданием в баллон постороннего тела (пыли). В опытах Leduc'a уменьшение веса баллона, после двукратного вытирания полотенцем, редко превосходило 1 мг, и в среднем он принимает, что потеря веса его баллона при каждом вытирании не превосходит 0,3 мг.

6. Помимо определения веса литра обыкновенного среднего воздуха, представляющего, как известно, достаточно постоянную смесь нескольких газов, Leduc подверг еще, для контроля, исследованию отдельные составные части воздуха. Для этой цели он приготовил составные части воздуха, как-то: кислород, азот атмосферный, азот химический, аргон и др. в возможно чистом виде и определил их плотности по отношению к среднему воздуху. Числа, полученные Leduc'ом, приводятся в нижеследующей таблице ¹⁾.

Г а з	Плотность по отношению к среднему воздуху	Вес 1 литра при нормальн. условиях
Кислород	1,10523 ²⁾	1,42928 г
Азот атм.	0,97203 ²⁾	1,25703 "
Азот хим.	0,96717	1,25074 "
Аргон	1,3787	1,78293 "
Неон	0,6948	0,8985 "
Гелий	0,137	0,177 "
Криптон	2,818	3,644 "
Ксенон	4,422	5,719 "

7. Так как воздух представляет смесь названных выше газов, каковая, согласно закону Dalton'a, должна иметь упругость равную сумме упругостей каждого газа в отдельности, занимающего объем равный объему смеси, то Leduc произвел экспериментальную проверку этого закона и пришел к заключению, что при образовании смеси двух или нескольких газов упругость ее вообще отличается от теоретически вычисленной, и отступление это тем больше, чем физическая природа одного из вступающих в смесь газов резче отличается от природы другого. Так, при смешении углекислого газа с сернистым, имеющих значительно различающиеся между собой молекулярные веса (44 и 64) и критические точки ($+31^\circ$ и $+155^\circ$), наблюдается увеличение упругости смеси на 1,3—1,4 мм ртутного столба, по сравнению с теоретически рассчитанным. При смешении водорода с сернистым газом, различающихся между собой по физической природе еще резче, чем вышеназванная комбинация (для водорода — молекулярный вес 2, критическая температура -174°), увеличение упругости смеси доходит до 3 мм ртутного столба. В случаях же, как в воздухе, если смесь состоит из близких между собой по физическим свойствам газов, изменение упругости смеси почти не наблюдается, и во всяком случае изменения эти такого порядка, что принимать их во внимание, при расчетах упругости смеси по упругостям каждой из составных частей, нет надобности, и плотность воздуха можно определять исходя из плотностей отдельных входящих в его состав газов — по правилу смешения. К такому

¹⁾ Данные о плотностях неона, гелия, криптона и ксенона взяты из наблюдений W. Ramsay и Travers'a.

²⁾ Regnault для плотности кислорода дает число 1,10563, слишком большое по сравнению с числом Leduc'a, что объясняется тем, что кислород, приготовлявшийся Regnault обычным способом, из бертолетовой соли, мог содержать не удаленные примеси окислов хлора.

Для атмосферного азота Regnault дает число 0,97137, заметно меньшее, чем у Leduc'a. Это обстоятельство объясняется тем, что Regnault, при приготовлении атмосферного азота путем пропускания воздуха сквозь слой меди, восстановленной водородом, не принимал мер к тому, чтобы не допустить обратного выделения водорода, соединившегося с медью во время процесса восстановления, такое выделение легко происходит, если процесс последующего окисления меди вести не при надлежащей температуре (слишком высокой).

заклучению нельзя было придти а priori, а оно явилось как следствие тщательно поставленных экспериментальных работ.

8. Приступая к разрешению вопроса о нормальном составе воздуха, который можно было бы принять для определения основного значения веса литра его, Leduc произвел ряд точных анализов свободного воздуха, взятого в различных местах, в разное время года и при разнообразных условиях. В нижеследующей таблице приводятся результаты таких анализов. (Анализ производился только на содержание кислорода).

I. Анализы воздуха летом.

М е с т н о с т ь	Содержание O по весу
Париж и окрестности	0,2318 — 0,2323
Парк Saint-Cloud у почвы на высоте листьев	0,2315 — 0,2320
Лес Vincennes	0,2323 — 0,2325
Окрестности Nîmes, при зап. ветре	0,2324
Плотина в Nice, при ю.-зап. ветре	0,2321
Алжир	0,2321
Берег у Dieppe, при легком ветре	0,2316
Альпы (на выс. 2060 м), при ветре с тор	0,2305
То же, при восходящем легком ветре	0,2323

II. Анализы зимой.

Обсерватория Puy de Dôme, без ветра	0,2317
Окрестности Roubaix	0,2309
Берег у Dieppe, при слабом сев. ветре	0,2307

На основании вышеприведенных результатов анализа Leduc приходит к заключению, что на берегу моря и в более северных широтах содержание кислорода в воздухе несколько меньше, чем в других областях, чем и объясняется расхождение результатов определения плотности кислорода, полученных Leduc'ом для Парижа и Rayleigh'ем для Лондона: Leduc получил, как выше указано, число 1,10523, а Rayleigh — 1,10532. Так как оба исследователя за единицу плотности принимали плотность среднего воздуха для данного места, то у Rayleigh'a и получилось число большее, чем у Leduc'a, — средний воздух в Лондоне, менее богатый кислородом, имеет меньшую плотность, чем воздух Парижа.

Исходя из своих исследований, а также принимая во внимание работы в этой области других экспериментаторов (Morley, Guye, Kovacs, Wourtzal, Watson, Claude, Gautier, Ramsay, Schloesing, Kellas), Leduc принимает следующий нормальный состав среднего воздуха:

	O	N	A	Ne	He	H	Cr	Xe
по объему	0,2100	0,7806	0,0004	$15 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$50 \cdot 10^{-9}$	$6 \cdot 10^{-9}$
по весу	0,2321	0,7549	0,0130	$8,4 \cdot 10^{-6}$	$0,7 \cdot 10^{-6}$	$0,07 \cdot 10^{-6}$	$140 \cdot 10^{-9}$	$30 \cdot 10^{-9}$

9. Вышеописанные подробные исследования дали возможность Leduc'у приступить к разрешению главной задачи с полной уверенностью в точности результата. Для оценки этого результата Leduc приводит следующие данные.

Взвешивание воздуха производилось в баллоне вместимостью около 2,25 литра, определенной с точностью до $1/50000$, т.е. до 0,04 мл, что вполне достаточно, принимая во внимание неизбежные ошибки опыта. Определение упругости воздуха в баллоне производилось с точностью до $1/25000$, а определение веса воздуха в баллоне, из серии наблюдений, — с точностью до $1/25000$ (0,1 мг). В общем Leduc считает, что полученный им вес литра среднего Парижского воздуха, при нормальных условиях (температура 0° , давление 760 мм ртутного столба, приведенного к 0° , напряжение силы тяжести в Лаборатории Сорбонны $9,8097 \text{ м/сек}^2$), верен с точностью до 0,1 мг, т.е. до единицы четвертого десятичного знака. Число это в окончательном виде предлагается Leduc'ом следующее:

$$E_0 = 1,2932 \text{ грамма,}$$

а при принятой международным соглашением нормальной силе тяжести $g = 9,80665 \text{ м/сек}^2$

$$E_0 = \frac{1,2932 \times 9,80665}{9,8097} = 1,2928 \text{ грамма.}$$

Для Главной Палаты мер и весов Д. И. Менделеев, как выше упомянуто, принял число E_0 равным 1,29455 грамма, — среднее из нескольких разнящихся между собою определений прежних исследователей и принимая напряжение силы тяжести равным (по Стебницкому) $9,8188 \text{ м/сек}^2$. В настоящее время число это должно быть исправлено, так как, с одной стороны мы имеем теперь вышеуказанные весьма точные данные относительно веса литра воздуха, полученные Leduc'ом и принятые Международным Бюро мер и весов, а с другой — имеются данные о величине напряжения силы тяжести в Главной Палате, непосредственно в ней полученные. По наблюдениям проф. А. А. Иванова, в 1915 г., величина g для Главной Палаты равна $9,81936 \text{ м/сек}^2$, что почти точно совпадает с значением, полученным проф. Ф. И. Блумбахом, в 1896 г., в Главной Палате, а именно $g = 9,8193 \text{ м/сек}^2$.

Приняв поэтому, как наиболее вероятное, для Главной Палаты значение $g = 9,8193 \text{ м/сек}^2$ ¹⁾, получим вес литра воздуха среднего состава при нормальных условиях и при напряжении силы тяжести в Главной Палате:

$$E_0 = \frac{1,2932 \times 9,8193}{9,8097} = 1,29447 \text{ грамма.}$$

Для практического пользования в Главной Палате этим значением E_0 , представляется более целесообразным включить в число нормальных составных частей воздуха также углекислый газ, необходимо в воздухе находящийся в достаточно постоянном количестве. В весовой лаборатории Главной Палаты, по определению А. Н. Доброхотова ²⁾, среднее и достаточно постоянное содержание CO_2 можно принять равным $0,04\%$. Включив это количество CO_2 в нормальный состав, получим вес литра такого воздуха равным:

$$E_0 = 0,9996 \times 1,29447 + 0,0004 \times 1,977044 \text{ ³⁾} = 1,29474 \text{ грамма.}$$

Выведенным таким образом значением величины E_0 и можно в дальнейшем пользоваться при вычислении веса литра воздуха ρ_e в данных

¹⁾ Н. Х. Прейсич. Измерение времени. Поверочное дело, № 3 (7) 1926 г., стр. 43.

²⁾ А. Н. Доброхотов. Временник Главной Палаты, ч. 3 (1896 г.), стр. 92.

³⁾ Число 1,977044 — плотность углекислого газа.

условиях работы в лаборатории Главной Палаты. Для такого вычисления применяется, как известно, формула:

$$e = E_0 \cdot \frac{H_0 - 0,38h}{(1 + 0,00367t) \cdot 760}$$

где H_0 — высота ртутного столба барометра, приведенная к 0°; h — упругость паров воды в воздухе и t — температура в весах.

Для определения веса литра воздуха с точностью до единицы четвертого десятичного знака необходимо температуру определять с точностью не менее 0,02°, так как изменение температуры на 0,1° влечет за собой изменение величины e на 4 или 5 единиц четвертого знака. Высота барометра, приведенная к 0°, с введенной поправкой ($H_0 - 0,38h$) на упругость паров воды, должна быть определена с точностью не меньшей 0,05 мм, так как разница давлений в 0,1 мм вызывает уже изменение величины e на полторы единицы (приблизительно) четвертого десятичного знака.

При точных метрологических взвешиваниях величина e , входящая в расчеты результата, определяемая согласно указанной выше формуле, может внушать всегда некоторое сомнение в достаточной ее точности, так как, не говоря о возможности ошибок при производстве отчетов показаний термометра, барометра, психрометра, исходная величина E_0 для вычисления веса литра окружающего воздуха является величиной условной, основанной на допущении некоторого среднего состава воздуха. Если этот состав изменяется, то и величина E_0 должна соответственно измениться. Если, напр., содержание кислорода в воздухе изменится на 0,1%, то вес литра воздуха такого состава будет не 1,2932 г (число Leduc'a), а 1,2930 г, т.-е. основная величина для расчета значения E_0 при данных условиях изменяется на 2 единицы четвертого десятичного знака, и необходимая точность результата взвешивания не будет достигнута. Условия лабораторной работы таковы, что гарантировать в них постоянство состава воздуха не представляется возможным, а потому и результаты весьма точных наблюдений, произведенных при разных условиях состава воздуха, могут получаться несогласные между собой без видимых причин. Учитывая это обстоятельство, Д. И. Менделеев уже давно (1875 г.) предложил ввести в практику точного определения веса литра воздуха метод сравнения веса в данном воздухе двух тел, равных между собою по весу в пустоте, но имеющих резко различающиеся объемы. Этот метод был практически испытан мной в 1918 г. и описан во „Временнике Главной Палаты“, вып. 1 (13), 1925 г.

О ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ РАВНОПЛЕЧНЫХ ВЕСОВ.

Н. М. Егоров.

В литературе донныне нет точно установленного понятия о чувствительности весов. В метрологической практике обыкновенно за меру чувствительности равноплечных весов при данной нагрузке принимается величина того дополнительного груза p , который сообщит концу указательной стрелки отклонение по шкале, от среднего положения, равное одному делению, 1 div (обычно 1 мм), другими словами, за чувствительность принимается весовая цена 1 деления шкалы. Такое определение нельзя признать удовлетворительным по следующим причинам.

Величина p зависит от длины h указательной стрелки; при небольших отклонениях от положения равновесия и при прочих одинаковых условиях эти величины обратно пропорциональны:

$$ph = \text{Const} \dots \dots \dots (1)$$

Между тем указательная стрелка не представляет существенной детали конструкции: ее можно сделать длиннее и короче.

Далее, величине груза p совершенно несообразно присваивать наименование чувствительности, так как мы обычно называем чувствительность весов большей, если ей отвечает груз p меньший. Несомненно, чувствительность есть величина обратная грузу p , и этот последний правильнее называть "чувствуемый груз".

Неудобство характеризовать чувствительность весов посредством груза p особенно становится заметным тогда, когда сравнивается чувствительность нескольких весов между собою: разных систем и грузоподъемностей.

Во избежание указанных неудобств следует, при установлении понятия чувствительности, исходить из углового отклонения коромысла δ , вызываемого грузом p , при чем удобнее ввести $\text{tg } \delta$ вместо δ . Величина чувствительного груза p , приходящаяся на единицу тангенса δ , т.е. $\frac{p}{\text{tg } \delta}$, является более приемлемой характеристикой чувствительности весов, так как она не зависит от длины стрелки. В самом деле, как видно из рис. 1:

$$\text{tg } \delta = 1 \text{ div} : h, \dots \dots \dots (2)$$

так что

$$\frac{p}{\text{tg } \delta} = p \cdot \frac{h}{1 \text{ div}} = \text{Const}.$$

Для целей сравнения различных весов между собою лучше брать не абсолютное значение величины $p \cdot \frac{h}{1 \text{ div}}$, а относительное. При этом возникает вопрос, к какой величине относить $p \cdot \frac{h}{1 \text{ div}}$. Если брать отношение к взвешиваемому грузу P , как это обыкновенно делается, то теряет смысл

характеристика чувствительности при нагрузке, равной нулю, т.е. одного коромысла. Очевидно, следует вводить и вес коромысла Q , т.е. брать отношение к $P + Q$.

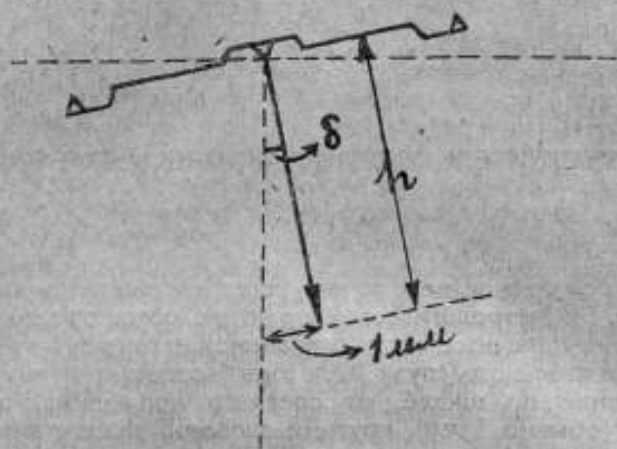


Рис. 1.

Но по смыслу понятия чувствительности, как выяснено ранее, она должна быть обратна величине чувствуемого груза, т.е. за чувствительность весов правильнее выбрать отношение:

$$\mu = \frac{P+Q}{p \cdot \frac{h}{1 \text{ мм}}} \dots \dots \dots (3)$$

Эту именно величину μ следует принять за чувствительность весов при нагрузке P . Она лишена многих недостатков, часть которых была упомянута выше, так как:

- 1) не зависит от длины стрелки,
- 2) возрастает (а не убывает, как p) при повышении реальной чувствительности весов,
- 3) позволяет сравнивать чувствительность различных весов между собою,
- 4) выражается отвлеченным числом.

Не трудно выяснить, от каких технических характеристик коромысла весов зависит величина μ . Как известно, величина p и соответствующий угол δ связаны уравнением:

$$\text{tg } \delta = \frac{pl}{Qs + Pf} \dots \dots \dots (4)$$

где l — длина плеча коромысла от ножа боковой призмы до ножа средней, Q — вес коромысла, s — расстояние центра тяжести его от ножа средней призмы, P — нагрузка на каждую чашку весов (сюда следует включить и вес чашки), f — стрела прогиба коромысла.

Формулы (4) и (2) дают:

$$p \cdot \frac{h}{1 \text{ мм}} = \frac{Qs + Pf}{l}$$

Таким образом чувствительность

$$\mu = \frac{P+Q}{Qs + Pf} \cdot l \dots \dots \dots (5)$$

Уравнение (5) показывает, что чувствительность μ зависит только от нагрузки P и от существенных технических характеристик коромысла.

Последней формулой следует пользоваться при теоретическом расчете коромысла, при практическом же определении чувствительности надлежит руководствоваться формулой (3). Следует оговориться, что теоретически вычисленная (по формуле 5) чувствительность весов всегда будет несколько больше определенной по формуле (3), где p взято из наблюдений. Причина заключается в том, что формула (5) игнорирует трение ножа призмы о подушку, сопротивление воздуха, оказываемой той и другой чашке и коромыслу весов и т. п. А между тем на преодоление всех этих препятствий груз p должен затрачивать работу, вследствие чего фактическая его величина несколько больше теоретически предполагаемой и, следовательно, чувствительность по непосредственному определению (3) меньше теоретической (5).

В заключение приведем примеры числовых значений μ , вычисленных по формуле (3), при непосредственном определении p , для весов, находящихся в лабораториях Главной Палаты.

Наименование весов	Нагрузка на каждую чашку	Вес коромысла	Чувствуемый груз p	Длина стрелки в делениях шкалы $\frac{\Delta}{1000}$	Чувствительность μ в тысячах
Немец	20 "	23,4 "	0,01 кг	170	5,4
	1 кг	1,08 кг	0,9 "	420	5,5
Эрлинг	800 "	375 "	0 "	207	1,0
	10 кг	7 кг	15 "	630	1,8
	20 "	10,7 "	20 "	820	2,4
Рупрехт	200 "	85,0 "	0,2 "	275	5,1
	5 кг	1,727 кг	1,8 "	500	7,5
Весы системы маст. Главной Палаты мер и весов	50 "	9,6 "	50 "	387	2,8
Рваше (с чугуин. кором.)	5 "	1,143 "	8 "	163	4,5

Приведенная таблица дает пример точной числовой оценки чувствительности весов и показывает возможность установления шкалы чувствительности.

СЛИЧЕНИЕ ИНВАРНЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ЖЕЗЛОВ-ЭТАЛОНОВ G14 и g22.

Н. И. Адамович.

Среди работ, исполненных в 1925 году эталонной лабораторией мер длины, имеются очередные сличения двух геодезических жезлов-эталонов — трехметрового жезла G14 и однометровой меры g22. Оба эти эталона принадлежат к той коллекции геодезических мер, которые были приобретены в 1907 г. бывшим Военно-Топографическим Управлением Главного Штаба через Женевское Общество для изготовления физических и механических инструментов (*Société Genèveoise pour la construction des instruments de physique et mécanique*), и в 1908 году детально исследованы в Международном Бюро мер и весов (в Севре).

Упомянутая коллекция состоит из пяти трехметровых эталонов и семи однометровых. Первые из них обозначаются прописными буквами французского алфавита (с стоящими при них номерами) D11, E12, F13, G14 и H15, а вторые — малыми буквами (с соответствующими номерами) a16, b17, c18, d19, e20, f21 и g22. Все перечисленные эталоны снабжены сертификатами Международного Бюро мер и весов.

В эталонной лаборатории мер длины хранятся два трехметровых жезла G14 и H15 и два однометровых c18 и g22.

Жезл G14 служит рабочей мерой и применяется для эталонирования тех 24-х метровых инварных проволок, которыми непосредственно измеряются базисы, при чем жезл G14 всякий раз подвергается сличению с жезлом H15.

Поперечное сечение этих эталонов имеет вид буквы Н (рис 1), вписанной в квадрат, сто-

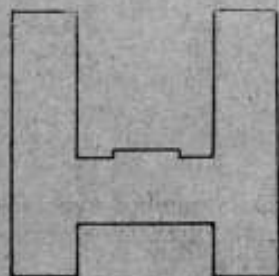


Рис. 1.

рона которого у трехметровых мер равна приблизительно 36 мм, а у однометровых — 26 мм.

Длина трехметровой меры определяется штрихами, нарезанными на площадках, тщательно отполированных на нейтральной плоскости стержня. Основных штрихов имеется на мере четыре, по одному на каждой площадке, при чем каждый штрих отмечен соответствующей цифрой (0, 1, 2, 3). Упомянутые четыре площадки имеют длину около 50 мм. Параллельно оси меры на каждой площадке сделаны две независимые продольные черты, расстояние между которыми колеблется в пределах от 0,3 до 0,5 мм. По обоим сторонам каждого основного штриха нарезано по два дополнительных, на расстоянии 1 мм от основного. Эти дополнительные миллиметровые подразделения служат для определения цены деления барабанов микрометров, и поэтому каждый миллиметровый интервал разделен еще на пять равных частей.

Описание метровой меры g22 дано ниже.

Свойства материала. Материал, из которого изготовлены эталоны G14 и g22, представляет собой сплав никкеля и стали, обладающий некоторыми особенностями, которые впервые были подмечены еще в 1889 году английским металлургом John Hopkinson'ом.

Hopkinson, исследуя один образец, содержащий около 25% никкеля, обратил внимание на то, что этот материал не поддается намагничиванию при обычных температурах.

При понижении же температуры образца можно было в нем обнаружить магнитные свойства, которые по мере его охлаждения значительно повышались. Когда образец приводили в первоначальное тепловое состояние, он сохранял способность намагничиваться даже при нагревании до температуры в 580°, выше которой магнитные свойства исчезали.

В 1891 г. тот же Hopkinson заметил некоторую особенность и в изменении длины и объема образцов из никкелевой стали, а именно: охлаждение образца до -100° С сопровождалось таким уменьшением объема, что плотность материала при возвращении образца к комнатной температуре понижалась на 2%.

Другую аномалию никкелевой стали наблюдал в 1895 г. покойный директор Международного Бюро мер и весов I. R. Benoit при исследовании одной линейки, содержащей 22% никкеля и 3% хрома. Эта аномалия заключалась в том, что термическое расширение линейки оказалось одинаковым с средним линейным расширением бронзы (18×10^{-6} на 1 метр и 1° С), т.е. значительно больше расширения чистого никкеля или стали.

По поручению Международного Комитета мер и весов I. R. Benoit предпринял совместно с нынешним директором Международного Бюро Ch.-Ed. Guillaume'ом исследование различных сортов никкелевой стали, которое привело к результатам, имеющим большое значение не только для метрологии, но и для техники.

Ближайшим поводом для этого исследования послужила потребность заменить дорого стоящую иридную платину, применяемую для изготовления первоклассных эталонов, материалом более дешевым. Для этого надо было выбрать металл, обладающий надлежащими механическими свойствами и по возможности постоянным и малым коэффициентом теплового расширения¹⁾.

В нижеследующей таблице приведены коэффициенты линейного расширения некоторых металлов, выраженные в микронах на 1 метр и 1° С

цинк	29	железо	12,5
алюминий	22	платина	8,9
серебро	19	иридий	6,6
медь	16	вольфрам	4,4
никкель	12,5		

Как видно из этой таблицы, вольфрам обладает сравнительно малым коэффициентом линейного расширения, однако обработка этого металла

¹⁾ Платина была применена для изготовления мер длины впервые в конце 18-го столетия. Из этого металла были сделаны те четыре геодезических жезла, которые Delambre и Méchain применяли в 1792—1797 г.г. при своих измерениях дуги меридиана между Дюнкерком и Барселоной. Из такой же (кованой) платины был изготовлен Lenoir'ом (в 1799 г.) прототип метра (в виде концевой линейки), известный в метрологии под названием архивного.

Тая как плавить платину в ту пору еще не умели, то материал этих исторических мер не отличался достаточной однородностью и чистотой. Это обстоятельство и послужило поводом для работ, выполненных по поручению Международной Метрической Комиссии Henri Sainte-Claire-Deville'м, который предложил в качестве материала для первоклассных эталонов сплав из 90% платины и 10% иридия. Из этого материала изготовлен международный метр и все те копии его, которые в 1889 г. были распределены по жребью между государствами, примкнувшими к Метрической Конвенции (1875 г.).

довольно затруднительна, и, кроме того, его нельзя было бы получать в достаточном количестве. Поэтому, естественно, Guillaume обратил внимание на чистый никкель, который обладает высокими качествами как в смысле легкости механической обработки, так и в смысле слабой окисляемости. Попутно он изучал и такие сплавы никкеля и стали, в которых содержание никкеля изменялось в широких пределах. При этом ему удалось выяснить, что термическое расширение образцов, изготовленных из этих сплавов, резко выделяется среди явлений, характеризующих металлические смеси.

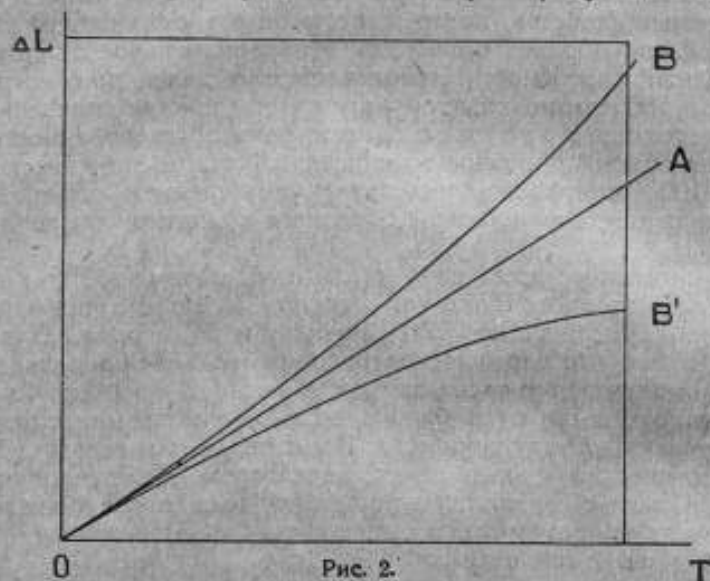


Рис. 2.

Guillaume исследовал около шестисот плавок, образцы которых в определенной обработке, обозначаемой в дальнейшем изложении „естественным или необработанным состоянием“, бесплатно доставлялись Международному Бюро мер и весов сталелитейным заводом в Imphy (близ Парижа), принадлежащим Обществу Commentry-Fourchambault et Decazeville с приложением результатов химического анализа их. Эти сорта никкелевой стали содержали небольшие количества примесей, общая сумма которых не превосходила одного процента. Обычными примесями являлись углерод, марганец и хром. Иногда встречался также кремний, однако количество его было всегда ничтожно малым.

Из названных примесей наибольшее значение имеет марганец, наличие которого обеспечивает возможность механической обработки материала; содержание марганца в нем не превосходит $0,5\%$, а углерода — $0,1\%$.

Хрома в никкелевой стали может вовсе не быть, однако его часто прибавляют, так как он сообщает металлу твердость и повышает предел его упругости.

Процентное содержание веществ, составляющих никкелевую сталь, определенным образом влияет на величину коэффициента линейного расширения, который может меняться от малой отрицательной величины [приблизительно $-0,5 \cdot 10^{-6}$] до сравнительно большой величины положительной [приблизительно 20×10^{-6}]. Сплав, содержащий 36% никкеля и обладающий коэффициентом линейного расширения не свыше $1,2 \cdot 10^{-6}$ был назван по предложению швейцарского профессора Thury (Journal Suisse d'Horlogerie) инваром (от латинского слова *invariabilis*, что значит неизменяемый).

Хотя об инваре существует уже большая литература, однако наиболее ценные сведения о нем, идущие из первых рук, изложены главным образом в трудах самого Guillaume¹⁾.

Вопросу об инваре посвящен также циркуляр № 58 Вашингтонского Бюро образцов (Circular of the Bureau of Standards № 58) под названием „Invar and related nickel steels“. На стр. 92—93 циркуляра (изд. 1923 г.) указана литература по этому вопросу.

Применение инвара в качестве материала для изготовления мер длины базируется главным образом на слабой расширяемости его от нагревания.

Тепловое расширение металлического стержня будем выражать квадратичной формулой:

$$L_T = L_0 [1 + \alpha T + \beta T^2]$$

в которой буква T обозначает температуру, а величины α (альфа) и β (бета) суть тепловые коэффициенты. Числовые значения этих величин для железа и никкеля и их сплавов приведены в таблице, помещенной в „Procès-verbaux du Comité international des Poids et Mesures“ за 1903 г. (стр. 164—165) В ней указано:

$$\begin{aligned} \text{для железа: } \alpha &= +12,512 \cdot 10^{-6}; \beta = +6,76 \cdot 10^{-9}, \\ \text{для никкеля: } \alpha &= +12,48 \cdot 10^{-6}; \beta = +7,4 \cdot 10^{-9}. \end{aligned}$$

Это значит, что стержень длиной в один метр, как из железа, так и из никкеля, при нагревании его на один градус расширяется приблизительно на 12,5 миллионных своей длины, т.е. на 12,5 микрона.

Из той же таблицы следует, что если составлять сплавы из железа и келя, меняя процентное содержание последнего, то величина коэффициентов α и β колеблется в широких пределах, а именно²⁾:

Т а б л и ц а 1.

Никкель в %	Хром в %	Формула расширения
26,2		$[13\,103 + 21,23 t] \cdot 10^{-9}$
27,9		$[11\,288 + 28,89 t] \cdot 10^{-9}$
28,7		$[10\,387 + 30,04 t] \cdot 10^{-9}$
30,4		$[4\,570 + 11,94 t] \cdot 10^{-9}$
31,4		$[3\,395 + 8,85 t] \cdot 10^{-9}$
34,6		$[1\,373 + 2,37 t] \cdot 10^{-9}$
35,6		$[877 + 1,27 t] \cdot 10^{-9}$
37,3		$[3\,457 + 6,47 t] \cdot 10^{-9}$
39,4		$[5\,357 + 4,48 t] \cdot 10^{-9}$
44,4		$[8\,508 + 2,51 t] \cdot 10^{-9}$
48,7		$[9\,843 + 0,13 t] \cdot 10^{-9}$
16,2	2,5	$[19\,496 + 4,30 t] \cdot 10^{-9}$
21,3	3,0	$[18\,180 + 4,30 t] \cdot 10^{-9}$
34,8	1,5	$[3\,580 + 1,32 t] \cdot 10^{-9}$
35,7	1,7	$[3\,373 + 1,65 t] \cdot 10^{-9}$
36,4	0,9	$[4\,433 + 3,92 t] \cdot 10^{-9}$

¹⁾ 1. Recherches sur le nickel et ses alliages. 1898.

²⁾ 2. Les applications des aciers au nickel avec un appendice sur la théorie des aciers au nickel. 1904.

³⁾ 3. La mesure rapide des bases géodésiques (последняя работа написана совместно с проф. I. R. Benoît и в 1917 г. вышла 5-м изданием).

⁴⁾ 4. La convention du mètre et le Bureau International des Poids et Mesures. Ch.-Ed. Guillaume. 1902, стр. 134.

Результаты, приведенные в таблице 1, получены при исследовании расширения образцов сплава в температурном интервале от нуля до 38° С. Из таблицы видно, что в этой области температур расширение постепенно понижается, по мере возрастания процентного содержания никкеля и около 36% достигает минимума, именно 0,8 микрона на 1 метр и 1 градус, при чем прибавление малой дозы (0,9%) хрома заметно повышает коэффициент расширения (до 4,4 микрона).

При особо благоприятном сочетании всех условий, влияющих на величину термического расширения, удавалось получать сплав, обладавший минимальным коэффициентом расширения равным ¹⁾

$$\alpha = [+0,028 - 0,00232 T] \times 10^{-6},$$

а у одного образца была получена для α величина отрицательная, выражаемая формулой:

$$\alpha = [-0,552 + 0,00377 T] \times 10^{-6}.$$

Второй член, стоящий в скобках этих выражений, т.е. β , показывает зависимость величины α от температуры. Малая величина коэффициента β говорит о том, что эта зависимость довольно слаба, а, следовательно, коэффициент расширения сплава обладает большим постоянством.

Чтобы наглядно представить прогресс техники, связанный с производством инвара, сравним термическое расширение (в микронах) одного метра проволоки платиновой, инварной (с минимальным коэффициентом расширения) и стальной при нагревании их от нуля градусов до температуры в 10°, 20° и 30°:

Температура	Платина	Инвар	Сталь
10°	88,6	+0,05	120
20°	177,0	-0,36	240
30°	267,0	-1,26	360

Если бы расширение выражалось линейной функцией, т.е. без квадратичного члена, то получили бы на диаграмме прямую *OA*, в случае же квадратичной формулы получается *OB* при положительном значении коэффициента и *OB'* — при отрицательном (рис. 2).

На рис. 3 представлена кривая расширения, отнесенного к 20°С. Эта кривая указывает на необычайную аномалию по сравнению с тем, что должно было бы обнаружиться по правилу смесей и представиться в виде прямой *AB* или *BC*.

Означенная аномалия имеет резко выраженный положительный характер; кривая, быстро понижаясь, проходит через минимум, соответствующий 36% никкеля и затем снова поднимается, приближаясь к величине расширения, которым обладает чистый никкель. Сталь, для которой построена кривая, содержала 0,4% марганца и 0,1% углерода.

Что касается изменения величины коэффициента β , то и в этом отношении никкелевая сталь представляет собой особенности, изображенные диаграммой рис. 4.

Для многих сортов никкелевой стали величина коэффициента β быстро меняется с температурой; это означает, что квадратичная формула недостаточна для выражения закона расширения, а надо бы брать еще следующий член, в который температура входит в кубе.

Значения β , по которым построена кривая (рис. 4), относятся также к 20°С. Из диаграммы видно, что значения коэффициента β колеблются

¹⁾ „Les applications des aciers au nickel“. 1904, p. 9.

в широких пределах и в области, соответствующей интервалу от 36% до 51% никкеля, эти значения отрицательны.

Если брать широкий температурный интервал, то расширение никкелевой стали может быть представлено кривой рис. 3, которая указывает, что на крайних участках *AB* и *EF* расширение сплава идет соответственно

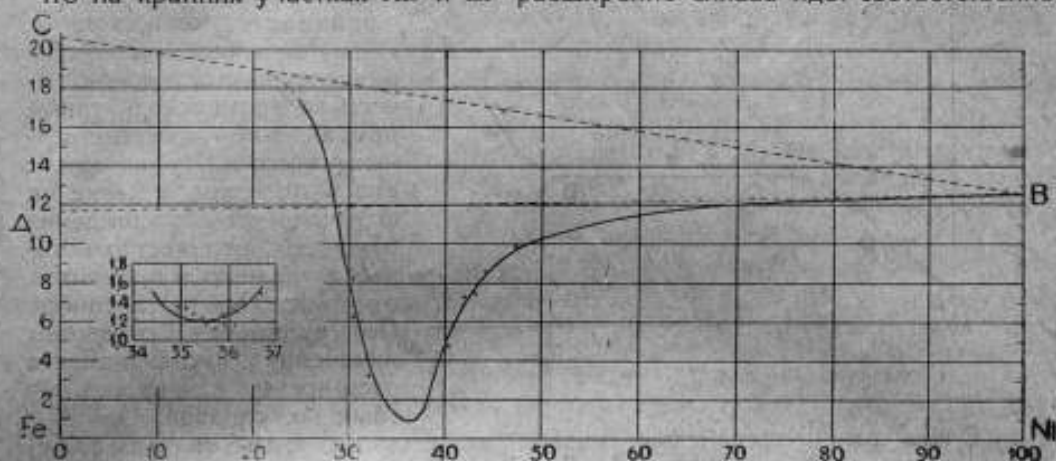


Рис. 3.

правилу смесей; аномалия же расширения представлена той частью кривой которая заключается между точками *B* и *E*. Так, например, на интервале *CD* коэффициент можно считать практически равным нулю.

При обычном содержании марганца (0,4%) и углерода (0,1%) трудно понизить расширение сплава дальше 1,2 микрона на 1 м и 1°С. Если же количество марганца уменьшать, то можно идти еще ниже, однако, при этом возрастают металлургические затруднения.

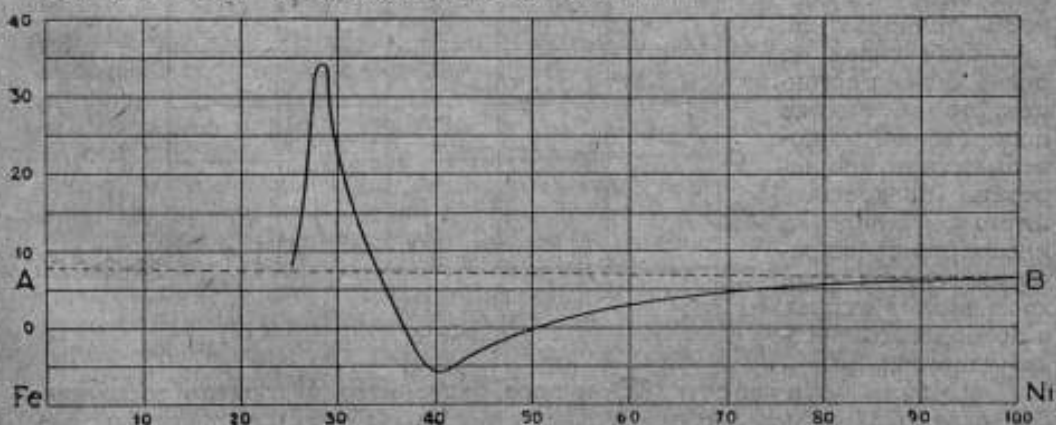


Рис. 4.

Следует заметить, что приведенные данные относятся к такому естественному состоянию образцов, которое получается в результате процессов, совершенно необходимых для их изготовления.

К таким процессам относятся прокатка в горячем состоянии и охлаждение на воздухе. Однако, надлежащей термической или механической обработкой инварных стержней можно несколько повлиять на величину расширения. Так, например, если стержень, находящийся в естественном

состоянии, снова нагреть и очень медленно (например, в течение двух или трех месяцев) охлаждать, то величина расширения повышается. При закалке же величина расширения понижается. Это понижение становится еще больше,

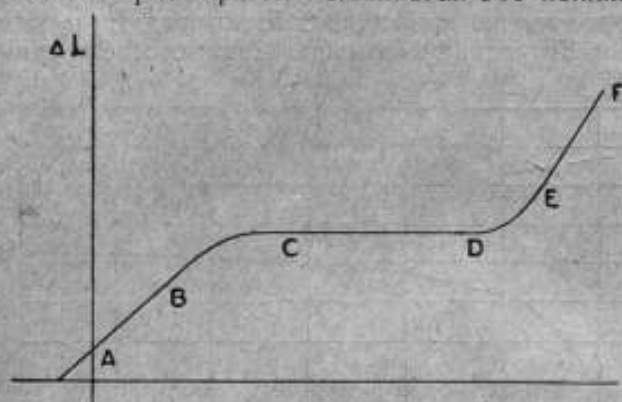


Рис. 5.

если образец подвергается ковке, прокатке или волочению в холодном состоянии.

Некоторые свойства никелевой стали можно несколько варьировать также прибавлением соответственных примесей. На диаграмме рис. 6 показано влияние на коэффициент расширения примесей, количество которых выражено в процентах, отчитываемых по абсциссе. По ординатам отложены изменения коэффициента расширения в микронах для обычных сплавов.

Очень важным свойством инвара является его слабая окисляемость. Его сопротивление окислению неизмеримо больше сопротивлением стали. Поэтому инварные стержни можно безо всякого ущерба для них погружать в холодную воду. Слабые следы окисления, появляющиеся на инваре, когда он продолжительное время остается в теплой воде, обычно не идут дальше поверхности и легко устраняются при протирании бескислотным вазелином. Инвар очень чувствителен к соляной кислоте.

Из механических свойств инвара надо отметить: во-первых, его способность хорошо вытягиваться в проволоку, во-вторых, пригодность к изготовлению пружин, и, в-третьих, способность полироваться.

Если сплав не очень беден марганцем, то на высокополированной поверхности можно нарезать прекрасные штрихи. Полировка инвара становится затруднительной, если хром входит в сплав в больших количествах, например, до 5%.

Модуль упругости (E) инвара, кованного в горячем состоянии, близок к 16000 кг/мм^2 , и повышается с возрастанием температуры¹⁾.

От величины модуля упругости зависит то свойство стержней данного поперечного сечения, которое называется жесткостью и влияет на их сопротивление изгибу.

¹⁾ Модулем упругости называется отношение между нормальным напряжением ($\frac{\Delta p}{S}$) материала и относительным удлинением [т.е. отношением удлинения (Δl) стержня от растяжения к первоначальной длине его (l)], следовательно $E = \frac{\Delta p}{S} \times \frac{l}{\Delta l}$.

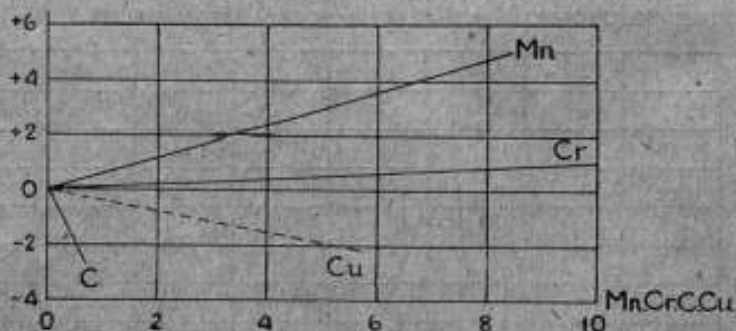


Рис. 6.

Guillaume измерял модуль упругости инвара, наблюдая прогиб инварных стержней, свободно лежащих на двух опорах.

Если исходить из величин E , соответствующих железу и никкелю, то в типичных сортах никкелевой стали модуль упругости понижается, и в области инвара он меньше на 25% той величины, которая вытекает из закона смесей. Прибавление марганца и хрома повышает модуль упругости, а прибавление углерода и меди понижает его.

Исследование термоэластического коэффициента $\left[\frac{dE}{dT}\right]$, изменяющегося в зависимости от процентного содержания никкеля, приводит к диаграмме рис. 7. Верхняя кривая, обозначенная цифрой 1, относится к типичным сплавам, а нижняя, обозначенная цифрой 2, относится к сплавам, содержащим примеси, эквивалентные 12% хрома (по Chevenard¹⁾).

Верхняя кривая пересекает ось абсцисс в двух точках, для которых термоэластический коэффициент получает значение, равное нулю. Эти точки соответствуют двум сплавам, из коих один содержит 29% никкеля, а дру-



Рис. 7.

гой — 45%. Этот факт поддал Guillaume'у мысль искать сплав, который обладал бы постоянным модулем упругости для большого промежутка температуры, и ему это удалось. Сплав, которого модуль упругости не зависит от температуры на значительном промежутке ее, был назван эльинваром²⁾. Он получается от прибавления к никкелевой стали больших доз хрома, вольфрама и т. п. Chevenard нашел, что если эльинвар должен работать на кручение, то он должен содержать не менее 12% хрома.

Изучение микроструктуры инвара дало основание заключить, что термической и механической обработкой этого материала в нем вызываются такие молекулярные процессы, которые в течение долгого времени обнаруживаются непрерывными изменениями длины инварных стержней. Эти изменения бывают двух родов, из которых одни называются длительными, а другие — кратковременными.

Длительные изменения проявляются тем, что инварный стержень, остающийся даже при постоянной температуре, сам по себе непрерывно удлиняется в течение большого периода времени. Это удлинение идет сначала быстро, иногда достигая, например, шести микронов в год, а затем все медленнее и притом так, что в течение десяти лет общее удли-

¹⁾ Recherches expérimentales sur les alliages de fer, de nickel et de chrome. P. Chevenard. Travaux et Mémoires du Bureau International des Poids et Mesures, t. XVII.

²⁾ Revue de l'industrie minière. 1922. № 44. Ch.-Ed. Guillaume. „Les métaux „invar“ et „élinvar“, leurs propriétés et leurs applications“.

нение может дойти, примерно, до 14 микронов (рис. 8), следуя при этом закону, который выражается функцией вида:

$$\Delta l = A [1 - e^{-kt}],$$

где удлинение Δl выражено в микронах, а время t — в днях. Буквою e обозначено основание неперовых логарифмов.

Таким образом длина инварной меры оказывается некоторой функцией времени, в течение которого мера приближается к какому-то пределу, зависящему от разнообразных факторов.

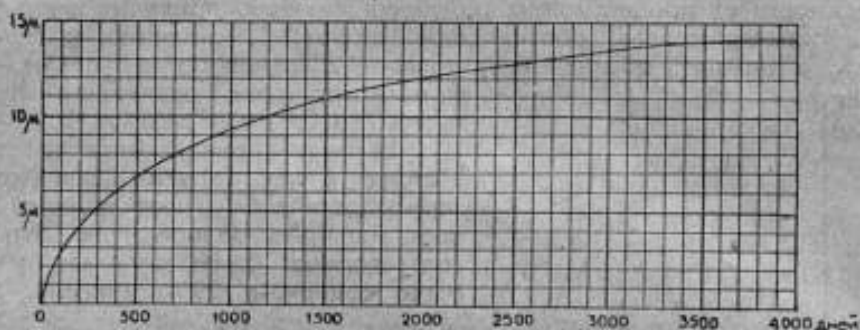


Рис. 8.

Хотя изменения длины инварных стержней, зависящие от времени, выражаются сравнительно малыми величинами (миллионными долями измеряемой величины), однако такое непостоянство их исключает возможность изготовлять из этого сплава первоклассные эталоны.

Кроме удлинений, происходящих при постоянной температуре, в инварных стержнях наблюдаются еще кратковременные изменения их длины следующего характера. Если инварную меру, находившуюся в течение продол-

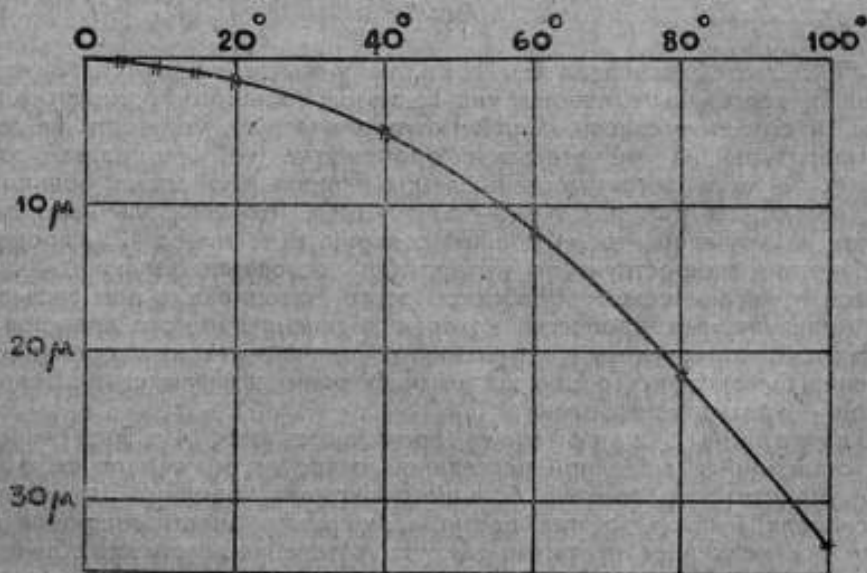


Рис. 9.

жительного периода времени при некоторой постоянной температуре, перенести в среду, имеющую другую температуру, то сперва происходит быстрое изменение длины, соответствующее ходу этой температуры; когда же

мера примет температуру этой среды, то длина ее начинает изменяться в противоположном направлении. Величины (в микронах) этих изменений показаны на рис. 9, на котором по горизонтали выставлены температуры, вызывающие изменения, означенные по вертикали. Изменения этого рода проявляются подобно тем, при которых приходится иметь дело с химическим равновесием, изменяющимся с температурой. Это равновесие достигается тем скорее, чем выше температура. Вследствие этих изменений, коэффициент расширения бруска колеблется между двумя пределами, соответствующими температуре, достигаемой быстро, и той температуре, при которой брусок находится в течение очень долгого времени. Разница между этими двумя предельными величинами есть функция температуры, и определяется эмпирической формулой:

$$\Delta l = -0,00325 \times 10^{-6} \times l \times t^2$$

По опытам *Guillaum'e*'а степень постоянства длины инварных мер в конечном счете зависит от содержания никкеля: чем больше никкеля в сплаве, тем выше его постоянство. В этом отношении весьма полезен сплав „платинит“, содержащий 42% никкеля и имеющий расширение, близкое к платине.

Изменения длины инварных мер являются серьезным их недостатком. Это явление послужило предметом особого исследования, и в результате были выяснены такие приемы обработки инварных стержней, которые могли бы обеспечить постоянство их длины.

Оказалось, что длительные изменения можно ослабить, если после проковки бруска в горячем состоянии подвергнуть его медленному охлаждению, начиная, например, от 100° и кончая 25°, при чем весь означенный температурный интервал стержень проходит в течение двух или трех месяцев. Подобный процесс называется томлением (*étuvage*) и отличается от отжига, который производится при высоких температурах. Вообще говоря, правильно произведенный отжиг также значительно повышает полезные свойства инвара.

При этом на конечные результаты (установление равновесного состояния и т. п.) влияют: температура нагревания, его продолжительность и скорость охлаждения.

Для получения желательных результатов упомянутые факторы должны находиться в некотором наиболее рациональном сочетании, которое определяется предварительным опытом.

Стержни, с которыми имел дело *Guillaum'e*, прокатывались на заводе при температуре, близкой к вишнево-красному калению, и охлаждались на воздухе. Стержни в таком состоянии назывались „необработанными“.

В целях их обработки производились следующие операции:

- 1) отжиг в течение нескольких часов при 900° с последующим охлаждением на воздухе;
- 2) такой же отжиг, но с последующим охлаждением в печи;
- 3) новое нагревание в печи отожженных последним способом образцов и охлаждение их на воздухе;
- и 4) закалка.

Если обозначим через $\Delta\alpha$ изменение коэффициента расширения обработанных образцов по сравнению с его значением для необработанного

¹⁾ René Benoit et Ch.-Ed. Guillaum'e. La mesure rapide des bases géodésiques, p. 32, 1917.

образца, то можно получить нижеследующую таблицу, в которой соответствующим номером указан один из вышеупомянутых способов обработки.

Обработка	
№ 1	$+0,26 \times 10^{-6}$
№ 2	$+0,65 \times 10^{-6}$
№ 3	0,0
№ 4	$-0,53 \times 10^{-6}$

Из приведенной таблицы видно, что одни только термические методы обработки могут изменять коэффициент расширения инвара на величину $1,18 \cdot 10^{-6}$ [$= +0,65 - (-0,53)$].

Термическая обработка влияет не только на величину коэффициента расширения, но и на скорость изменений общей длины стержня: изменения длины становятся тем медленнее, чем более задерживается охлаждение до комнатной температуры.

Результаты измерений. Как было сказано выше, в эталонной лаборатории мер длины хранятся два трехметровых жезла G14 и H15.

Длина жезла H15 была определена в 1908 г. Международным Бюро мер и весов и представлена следующим выражением:

$$H(0-3) \text{ м} = 3 \text{ м} + 32,9 \mu + 22,014 \mu T - 0,0102 \mu T^2,$$

где температура T дана в градусах шкалы водородного термометра.

Приведенное уравнение показывает, что при $T = 0^\circ$ длина жезла

$$H(0-3) \text{ м} = 3 \text{ м} + 32,9 \mu$$

и что при нагревании на один градус его длина увеличивается на 22 микрона.

Оба жезла сличаются между собою довольно часто, и поэтому изменение длины трехметровой меры G14 за все время пребывания ее в Главной Палате мер и весов [с апреля месяца 1909 г.] известно с достаточной точностью, чтобы можно было судить о ходе ее удлинений. Эти сличения производятся при разнообразных температурах, при чем, согласно желания Военно-Топографического Управления, длина эталона G14 дается всегда при $17,000^\circ$.

До последнего времени приведение длины меры G14 к температуре 17° производилось по коэффициенту $\alpha = 2,35$ (на 3 м), найденному еще в 1909 году при помощи компаратора Troughton and Simms. В апреле же 1926 г. оказалось возможным определить расширение меры G14 на четырехметровом геодезическом компараторе.

Для целей определения коэффициентов расширения этот компаратор снабжен двумя отдельными ваннами, в которых имеются приспособления для установки мер и их регулировки по высоте, длине и азимуту.

Меньшая ванна была наполнена водой комнатной температуры ($16^\circ,20$), которая во все время работы поддерживалась по возможности постоянной, и в ней была установлена трехметровая мера H15 так, чтобы через микроскопы можно было отчетливо видеть ее штрихи. На уровне нейтральной плоскости меры H15 рядом с нею были расположены два термометра Baudin'a № 13881 и № 13882, разделенные на $0,05$ градуса.

В большой ванне была установлена мера G14 и ванна была наполнена водой, температура которой менялась. Рядом с мерой в этой ванне были расположены термометры Baudin'a № 15658, № 15659 и № 15660. С целью определения коэффициента расширения меры G14 она была сличена с H15 при пяти температурах: $0^\circ,7$, 9° , 18° , 24° и 32° . Перед каждым сличением

вода тщательно перемешивалась в обеих ваннах при помощи турбинок, имеющих в ваннах.

При каждой из вышеуказанных температур было сделано по четыре сличения (при наивысшей температуре сделано пять сличений) и, следовательно, получено 21 уравнение, из которых в каждое, согласно формуле:

$$L_T = L_0 [1 + \alpha T + \beta T^2],$$

входит три неизвестных: длина меры при нуле градусов, коэффициент расширения и его изменение с температурой.

Обработка каждого из 21 непосредственных наблюдений дает результаты, приведенные в нижеследующей таблице II, в которой в первом столбце дана температура меры H15, во втором столбце — температура изучаемой меры G14, а в третьем — разность в микронах между этими мерами, при чем длина меры H15 отнесена к средней температуре воды за все время сличения, равной 16°, 208.

Таблица II.

№ наблюдения	Температура меры H15	Температура меры G14	Разность в микронах G14—H15
I	16,066°	0,728°	— 343,97
II	16,087°	0,734°	— 343,76
III	16,068°	0,736°	— 344,12
IV	16,050°	0,765°	— 344,04
V	16,312°	9,807°	— 321,16
VI	16,315°	9,845°	— 321,57
VII	16,318°	9,967°	— 320,83
VIII	16,314°	10,081°	— 320,72
IX	16,206°	17,849°	— 301,59
X	16,190°	17,885°	— 301,62
XI	16,179°	17,899°	— 301,29
XII	16,166°	17,946°	— 300,68
XIII	16,270°	24,352°	— 285,59
XIV	16,259°	24,532°	— 285,17
XV	16,245°	24,731°	— 284,10
XVI	16,242°	25,023°	— 283,30
XVII	16,250°	30,996°	— 268,35
XVIII	16,227°	31,414°	— 267,11
XIX	16,216°	31,843°	— 265,27
XX	16,204°	32,333°	— 264,53
XXI	16,190°	32,765°	— 263,52

Среднее 16,208°

Если длину трехметровой меры G14 для любой температуры от 0° до 32° выразим формулой:

$$G_T = G_0 [1 + \alpha T + \beta T^2],$$

то последнее (XXI) уравнение таблицы II можно переписать

$$G_0 + 32,765 G_0 \alpha + [32,765]^2 G_0 \beta - H15 = - 263,52 \mu.$$

Если введем обозначения:

$$\begin{aligned} G_0 - H15 &= x, \\ G_0 \alpha &= y, \\ G_0 \beta &= z. \end{aligned}$$

то на основании таблицы II можно написать следующие уравнения, расположенные в порядке возрастающих температур (таблица III):

Таблица III.

				Δ
I	$x + 0,728$	$y + 0,52998$	$z = -343,97$	$\mu + 0,15$
II	$x + 0,734$	$y + 0,53876$	$z = -343,76$	$\mu - 0,20$
III	$x + 0,736$	$y + 0,54170$	$z = -344,12$	$\mu - 0,08$
IV	$x + 0,765$	$y + 0,58522$	$z = -344,04$	$\mu - 0,22$
V	$x + 9,807$	$y + 96,17725$	$z = -321,16$	$\mu - 0,39$
V	$x + 9,845$	$y + 96,92402$	$z = -321,57$	$\mu - 0,11$
VII	$x + 9,967$	$y + 99,34109$	$z = -320,83$	$\mu + 0,32$
VIII	$x + 10,081$	$y + 101,62656$	$z = -320,72$	$\mu + 0,15$
IX	$x + 17,849$	$y + 318,58680$	$z = -301,59$	$\mu - 0,12$
X	$x + 17,885$	$y + 319,87322$	$z = -301,62$	$\mu - 0,24$
XI	$x + 17,899$	$y + 320,37220$	$z = -301,29$	$\mu + 0,05$
XII	$x + 17,946$	$y + 322,05892$	$z = -300,68$	$\mu + 0,55$
XIII	$x + 24,352$	$y + 593,01990$	$z = -285,59$	$\mu - 0,54$
XIV	$x + 24,532$	$y + 601,81902$	$z = -285,17$	$\mu - 0,58$
XV	$x + 24,731$	$y + 611,62231$	$z = -284,10$	$\mu - 0,02$
XVI	$x + 25,023$	$y + 626,15053$	$z = -283,30$	$\mu + 0,04$
XVII	$x + 30,996$	$y + 960,75202$	$z = -268,35$	$\mu - 0,25$
XVIII	$x + 31,414$	$y + 986,83940$	$z = -267,11$	$\mu - 0,09$
XIX	$x + 31,843$	$y + 1013,97665$	$z = -265,27$	$\mu + 0,65$
XX	$x + 32,333$	$y + 1045,42289$	$z = -264,53$	$\mu + 0,13$
XXI	$x + 32,765$	$y + 1073,54522$	$z = -263,52$	$\mu + 0,04$

Для нахождения вероятнейших значений искомых величин по способу наименьших квадратов составляем нормальные уравнения:

$$\begin{array}{rcl} 21 & x + & 372,231 & y + & 9190,31 & z = & - & 6332,65 \\ 372,231 & x + & 9190,31 & y + & 248878,8 & z = & - & 105740,519 \\ 9190,31 & x + & 248878,8 & y + & 7099479 & z = & - & 2555108,7 \end{array}$$

Числа, входящие в эти нормальные уравнения в качестве коэффициентов при неизвестных, для левых частей уравнения имеют следующие значения:

$$\begin{array}{rcl} 372,231 & = & \Sigma T \\ 9190,31 & = & \Sigma T^2 \\ 248878,8 & = & \Sigma T^3 \\ 7099479 & = & \Sigma T^4 \end{array}$$

Величины же, стоящие в правых частях уравнений, суть:

$$\begin{array}{rcl} \Sigma \mu & = & -6332,65 \\ \Sigma \mu T & = & -105740,519 \\ \Sigma \mu T^2 & = & -2555108,7 \end{array}$$

Решение нормальных уравнений (по схеме Гаусса) дает:

$$\begin{array}{rcl} x & = & -345,69389 \\ y & = & +2,44275 \\ z & = & +0,00196 \end{array}$$

Средняя ошибка отдельного наблюдения, вычисленная по формуле:

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

в которой Δ — разность между наблюдаемыми и вычисленными значениями величин, приведенных в последнем столбце таблицы II, n — число уравнений, и k — число неизвестных, равно $m = \pm 0,328 \mu$.

Вычисление вероятных ошибок неизвестных дает:

$$\begin{aligned} r_x &= \pm 0,086 \mu \\ r_y &= \pm 0,0148 \mu \\ r_z &= \pm 0,00046 \mu \end{aligned}$$

На основании вычисленных таким образом x , y , z , можно написать уравнение меры G14 для любой температуры T в следующем виде:

$$G(0-3) \text{ м} = 3 \text{ м} + 40,8 \mu + 2,443 \mu T + 0,002 \mu T^2.$$

Следовательно, отныне надо считать коэффициент расширения меры G14 на 3 метра и 1 градус:

$$\begin{aligned} \alpha &= + 2,443 \\ \beta &= + 0,002 \end{aligned}$$

По этим данным с апреля месяца 1926 г. делается приведение меры G14(0-3) м к температуре 17.000°.

В таблице IV даны значения общей длины меры G14(0-3) м, приведенные к 17.000°, с указанием даты, к которой относится соответствующая величина.

Таблица IV.

Длина эталона G14(0-3) м при 17.000°.

1909 г. апреля . . . 27	G14(0-3) = 3 м	+ 65,57 μ
1910 » января . . . 31	»	+ 68,50 »
1910 » июля . . . 31	»	+ 69,70 »
1911 » апреля . . . 30	»	+ 71,25 »
1911 » июля . . . 31	»	+ 71,97 »
1911 » декабря . . . 20	»	+ 72,72 »
1912 » сентября . . . 24	»	+ 73,25 »
1913 » октября . . . 18	»	+ 74,63 »
1913 » декабря . . . 25	»	+ 74,80 »
1914 » мая 19	»	+ 75,63 »
1914 » июня 22	»	+ 75,86 »
1915 » июня 22	»	+ 78,66 »
1917 » августа . . . 10	»	+ 78,97 »
1920 » ноября 7	»	+ 80,85 »
1922 » февраля . . . 22	»	+ 81,66 »
1924 » сентября . . . 1	»	+ 82,16 »
1925 » июля 16	»	+ 81,66 »
1925 » октября . . . 23	»	+ 82,04 »
1925 » ноября 28	»	+ 82,27 »
1925 » декабря 2	»	+ 82,27 »
1926 » января 7	»	+ 82,84 »
1926 » января 8	»	+ 82,84 »
1926 » апреля 13	»	+ 82,81 »
1926 » мая 5	»	+ 82,37 »
1926 » мая 31	»	+ 82,09 »
1926 » июня 14	»	+ 82,38 »
1926 » августа 24	»	+ 82,33 »
1926 » октября . . . 25	»	+ 82,89 »
1926 » ноября 26	»	+ 82,43 »
1927 » января 18	»	+ 83,57 »
1927 » января 21	»	+ 83,32 »
1927 » января 22	»	+ 83,42 »
1927 » января 23	»	+ 83,15 »

Все числовые величины, относящиеся к длине меры G14 до 28 ноября 1925 года и приведенные в таблице IV, получены измерениями, произведенными при помощи универсального компаратора Главной Палаты мер и

весов, приобретенного еще в 1877-м году у английской фирмы Troughton and Sims. Следует отметить, что все эти сличения всегда производились в воде комнатной температуры, так как при такой температуре достигается наибольшая точность.

Из приведенных в таблице IV данных следует, что с апреля месяца 1909 года до июня 1915 года происходило заметное и довольно быстрое удлинение меры, причем эти изменения длины шли крайне неравномерно. Действительно, обратим внимание на некоторые интервалы времени, например, с 27-го апреля 1909 года по 31-е января 1910-го, т. е. в течение 270 дней, мера удлинилась на 2,93 микрона, что дает в сто дней удлинение в 1,85 микрона. Подобных интервалов в 270 дней имеется еще два, а именно: с 26-го декабря 1911 г. по 24-е сентября 1912 г. и с 18 октября 1913-го года по 19-е мая 1914 года. Удлинение, происшедшее в 1912 году, оказалось равным 0,2 микрона, а в 1914 г. 0,4 микрона в сто дней.

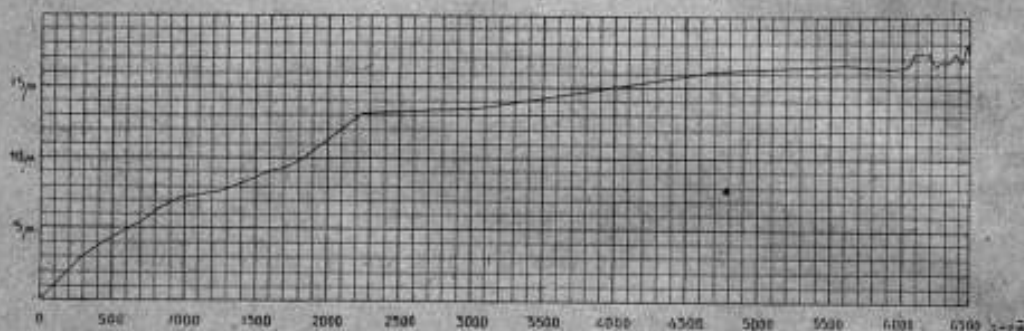


Рис. 10.

Если взять более длинные интервалы времени, начиная с апреля месяца 1909-го года, то расчет дает следующие величины удлинений:

С 27-го апреля 1909 г. по 31 июля 1910 г. 460 дней: удлинение 0,89 μ в 100 дней.

С 27-го апреля 1909 г. по 31 июля 1911 г. 810 дней: удлинение 0,80 μ в 100 дней.

С 27-го апреля 1909 г. по 26 декабря 1911 г. 940 дней: удлинение 0,76 μ в 100 дней.

Из сказанного можно заключить, что удлинение меры G14 с течением времени становится все меньше. Было замечено, что они становились особенно малыми в те периоды, когда жезл вовсе не применялся для эталонирования инварных проволок, а следовательно, когда он не подвергался никаким перевозкам.

Сличения, произведенные с 28 ноября 1925 года при помощи нового четырехметрового компаратора, показывают, что изменения длины меры G14, повидимому, затухают все более. Наглядно это затухание удлинений представлено на рис. 10.

Как было упомянуто выше, кроме основных штрихов, определяющих на трехметровых жезлах отдельные метры, на них имеются еще миллиметровые подразделения, которые были повторно измерены при помощи микрометров геодезического компаратора в 1926 г. Эти измерения дали следующие результаты:

Интервал от	— 1,0 мм	до	0,0 мм	равняется	999,0 μ
"	"	0,0	"	+ 1,0	" 999,1 "
"	"	2999,0	"	3000,0	" 1001,9 "
"	"	3000,0	"	3001,0	" 999,2 "

Метровая мера g22. Метровая мера g22 имеет такое же поперечное сечение, как и все трехметровые жезлы. У левого конца меры на поверхности полки, ближайшей к наблюдателю, выгравировано „SIP Genève“, а у правого конца на одной полке выгравирована буква g, а на другой— число 22. Поэтому означенная мера носит наименование g22. Никаких других знаков на ней не имеется. На нейтральной плоскости стержня нарезаны во всю длину миллиметровые подразделения с обозначением целых сантиметров порядковыми числами от нуля до ста. Слева от штриха, обозначенного знаком ноль, нарезан один миллиметр, разделенный на десять равных частей; такой же разделенный на десятые части миллиметр нарезан и справа от штриха, обозначенного знаком 100.

Со времени доставления метра g22 в Главную Палату мер и весов он неоднократно сличался как непосредственно с копией международного метра № 28, так и с другими первоклассными эталонами, которые имеются в эталонной лаборатории мер длины, и поэтому длина меры g22 известна для разных эпох с большой точностью.

В виду того, что нулевой штрих, соответствующий 0 мм, представляется не вполне совершенным, уравнение метра g22 всегда дается для интервала (1—1001) мм.

Длина означенного интервала при 0° для различных эпох получена следующая:

1909 г. апреля	27	g 22 (1—1001) мм = 1 м + 20,80 μ
1911 „ апреля	23	„ „ = 1 „ + 23,30 „
1913 „ декабря	31	„ „ = 1 „ + 24,38 „
1914 „ марта	2	„ „ = 1 „ + 24,55 „
1924 „ сентября	9	„ „ = 1 „ + 28,20 „
1925 „ февраля	4	„ „ = 1 „ + 28,48 „

Коэффициент расширения метра g22 принимается равным:

$$\alpha = 1,05 \mu + 0,00107 \mu \cdot T.$$

Что касается интервала g 22 (0—1000) мм, то он был впервые измерен в 1922 году, при чем оказалось, что длина его при нуле градусов равна 1 м—32,4 μ. Длина же миллиметровых подразделений:

$$\begin{aligned} (0-1) \text{ мм} &= 1 \text{ мм} + 0,96 \mu \\ (1000-1001) \text{ мм} &= 1 \text{ мм} - 0,11 \mu \end{aligned}$$

Температура при измерении означенных миллиметров была близка к 15,8°.

ОБ ИСКЛЮЧЕНИИ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ОШИБОК ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ХРОНОГРАФОВ.

Н. Х. Прейпич.

§ 1. Принципы применения хронографа.

Хронографы записывают замыкания и размыкания электрической цепи, состоящей из сигнализирующего прибора, электромагнита хронографа и батареи. Сигналы, записанные на ленте хронографа, содержат систематические ошибки, исключить которые составляет заботу наблюдателя.

Пусть при промере хронограмм измеряется сдвиг сигналов второго пера относительно сигналов первого пера, — пусть вторым пером пишут часы R_2 , первым часы R_1 ; длительности реакций перьев суть соответственно V_2 и V_1 , а геометрический параллакс перьев хронографа есть p .

Если нами в этом случае сделан отчет a , то мы можем написать:

$$(R_2 + V_2) - (R_1 + V_1) + p = a \dots \dots \dots (1)$$

или

$$(R_2 - R_1) + [(V_2 - V_1) + p] = a \dots \dots \dots (2)$$

где R_2 и R_1 суть соответственно моменты контактов в цепях.

Разность $(V_2 - V_1)$ мы назовем электрическим параллаксом, а все выражение

$$V_2 - V_1 + p = \pi \dots \dots \dots (3)$$

общим параллаксом хронографа.

Для того чтобы исключить влияние общего параллакса, можно применить два способа:

I. Способ рабочих часов.

В этом случае часы R_1 играют роль исключительно вспомогательную и служат лишь для сличения иных часов R_2, R_3, R_4, \dots ; действительно, включив вместо часов R_2 часы R_3 и полагая, что сопротивления цепей R_2 и R_3 одинаковы, мы можем написать:

$$(R_3 - R_1) + [(V_2 - V_1) + p] = a_1 \dots \dots \dots (4)$$

вычитая уравнение (4) из уравнения (2), находим:

$$R_2 - R_3 = a - a_1 \dots \dots \dots (5)$$

т.е. свободный от влияния общего параллакса результат сравнений ¹⁾.

II. Способ перекрестного сравнения часов ²⁾.

В этом случае требуется, чтобы сопротивления цепей R_1 и R_2 были одинаковы; производим второе сравнение часов (мы называем его обрат-

¹⁾ Б. В. Нумеров. Схема электрической часовой установки Астр. Обсерватории Петербурга. Стр. 13, 1918.

В. Wapach. Der Zeitdienst des Geod. Inst. in den J. 1922 und 1923, p. 4. Veröf. des Preuss. Geod. Inst. N. F. № 93 — Potsdam 1924.

²⁾ Б. В. Нумеров. Цитированная статья, а также Временник Г. П. Вып. I (13) стр. 54.

ным) так, чтобы часы R_2 писали теперь первым пером, а часы R_1 вторым; получаемый нами при промере хронограммы отчет a_2 должен представлять собою дополнение разности $(R_2 - R_1)$ до одной секунды, и, следовательно, если отчеты выражаются нами в тысячных долях секунды, то мы можем написать:

$$(R_1 - R_2) + [V_2 - V_1 + p] = a_2 - 1000 \dots \dots \dots (6)$$

Совместное решение уравнений (2) и (6) дает нам:

$$\pi = V_2 - V_1 + p = \frac{a + a_2 - 1000}{2} \dots \dots \dots (7)$$

и

$$R_2 - R_1 = \frac{a - a_2 + 1000}{2} \dots \dots \dots (8)$$

что и требовалось.

Заметим, что большинство современных часов снабжены омическими сопротивлениями, шунтирующими прерыватель часов. Вследствие этого, электромагниты хронографа находятся все время работы под некоторым слабым током, на который, затем, накладываются более сильные токи, проходящие через самый прерыватель часов.

Предположим, что шунт на часах R_2 снят и что это вызывает сдвиг сигналов на величины: ω_2 на втором и ω_1 на первом пере.

Тогда уравнения (2) и (6) заменяются следующими:

$$(R_2 - R_1) + (V_2 - V_1) + p + \omega_2 = e \dots \dots \dots (2')$$

$$(R_1 - R_2) + (V_2 - V_1) + p - \omega_1 = e_1 - 1000 \dots \dots \dots (6')$$

Откуда:

$$\pi' = \pi + \frac{\omega_2 - \omega_1}{2} = \frac{e + e_1 - 1000}{2} \dots \dots \dots (7')$$

$$R_2 - R_1 + \frac{\omega_2 + \omega_1}{2} = \frac{e - e_1 + 1000}{2} \dots \dots \dots (8')$$

Так как величины ω_2 и ω_1 суть не сами инерции сигналов, а изменения их, вызванные одной и той же причиной, то можно ожидать, что ω_2 будет близко к ω_1 ¹⁾. В таком случае новое значение параллакса π' будет практически совпадать со старым значением π , результат же сравнений часов будет заключать систематическую ошибку, т.е. сигналы часов будут происходить в моменты $R_2 + \frac{\omega_2 + \omega_1}{2}$.

Предположим далее, что шунты одинакового сопротивления сняты как с часов R_2 , так и с R_1 . Тогда мы можем написать:

$$(R_2 - R_1) + (V_2 - V_1) + p + (\omega_2 - \omega_1) = f \dots \dots \dots (2'')$$

$$(R_1 - R_2) + (V_2 - V_1) + p + (\omega_2 - \omega_1) = f_1 - 1000 \dots \dots \dots (6'')$$

и значит:

$$\pi'' = \pi + (\omega_2 - \omega_1) = \frac{f + f_1 - 1000}{2} \dots \dots \dots (7'')$$

$$R_2 - R_1 = \frac{f - f_1 + 1000}{2} \dots \dots \dots (8'')$$

т.е. параллакс π'' будет опять-таки близок к прежнему π , результат же сравнения часов будет независим от инерции перьев хронографа.

Вообще говоря, можно предвидеть, что наличие шунтов у прерывателей часов должно вызывать значительные изменения в воздействии силы тока на инерцию сигналов.

1) Это будет справедливо при одинаковом вольтаже обеих батарей и при одинаковых натяжениях пружин якорей.

Поэтому шунтирование электромагнитов хронографа для уничтожения экстратоков следует признать более целесообразным, чем шунтирование самих прерывателей часов. Это, правда, несколько усилит рабочий ток, проходящий через часы, но устранит зато источник возможных ошибок.

§ 2. Фазы сигналов хронографа и определение их относительного запаздывания.

При применении хронографов можно пользоваться: 1) сигналами размыкания тока и 2) сигналами замыкания тока.

Как это указано в § 1, при работе на одноименных фазах инерции сигналов размыкания или замыкания исключаются. В случае работы на разноименных фазах, например, когда начало и конец явления отмечаются соответственно замыканиями и размыканиями тока, является необходимость в определении относительного запаздывания или, короче, разности этих фаз:

Это может быть выполнено следующим образом.

Пусть нам требуется определить разность фаз замыкание — размыкание для второго пера хронографа.

Включим для этой цели в цепь первого пера некоторые часы N , в цепь второго пера — вторичную цепь релэ других часов, например, R . Применяемое релэ должно допускать работу как при одноименных, так и при разноименных фазах в первичной и вторичной его цепях, т.е. допускать подобную и неподобную работу¹⁾.

Замыкания вторичной цепи релэ будут производиться в этих двух случаях различными контактами релэ, т.е. переход от подобной работы к неподобной равносильна замене часов R' часами R'' ; обозначим моменты этих контактов также через R' и R'' . Отметим еще, что рядом лежащие сигналы релэ соответствуют разноименным фазам.

Пусть ошибки минутного периода релэ для этих сигналов суть: 0 для размыкания и x'' для замыкания и пусть, наконец, относительное запаздывание фазы замыкания для второго пера есть Δ_2 .

Производим сличение при подобной работе релэ часов R .

Промерив это сличение, опираясь на размыкания релэ часов R , мы получаем уравнение:

$$R' - N = a \dots \dots \dots (9)$$

(инерция размыкания, параллакс перьев и относительный ход часов приняты для простоты равными нулю, ибо эти величины могут быть нами всегда исключены).

Промерив это же сличение, опираясь на замыкания релэ часов R , имеем:

$$R'' + \Delta_2 + x'' - N = b \dots \dots \dots (10)$$

Производим новое сличение при неподобной работе релэ часов R .

Получаем два новых уравнения:

$$R'' + \Delta_2 - N = c \dots \dots \dots (11)$$

$$R'' + x'' - N = d \dots \dots \dots (12)$$

¹⁾ Здесь мы придерживаемся терминологии, введенной Б. В. Нумеровым. См. упомянутую выше статью.

Решая систему уравнений (9—12), которую мы назовем „первой комбинацией“, находим:

$$\left. \begin{aligned} \Delta_2 + x' &= b - a = q_1 \\ \Delta_2 - x' &= c - d = q_2 \\ (R'' - R''') - \Delta_2 &= a - c = s_1 \\ (R'' - R''') + \Delta_2 &= b - d = s_2 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (13)$$

откуда

$$\left. \begin{aligned} \Delta_2 &= \frac{1}{2} (q_1 + q_2) = \frac{1}{2} (s_2 - s_1) \\ x' &= \frac{1}{2} (q_1 - q_2) \\ R'' - R''' &= \frac{1}{2} (s_1 + s_2) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (14)$$

§ 3. Определение относительного запаздывания двух реле при их работе на разноименных фазах.

Пусть в цепь прерывателя некоторых часов R включены обмотки двух различных реле R' и R'' и пусть вторичные цепи этих реле включены на неподобную (R') и подобную (R'') работы. Требуется найти относительное запаздывание ($R'' - R'$) этих реле.

Для нахождения этой разности производим сличение вспомогательных часов N с часами R сначала через реле R'' , а затем через реле R' .

Промерив хронограммы по способу, указанному в предыдущем параграфе, мы можем написать следующую систему уравнений (вторая комбинация):

$$\left. \begin{aligned} R'' - N &= a_1 \\ R'' + \Delta_2 + x' - N &= b_1 \\ R' + \Delta_2 - N &= c_1 \\ R' + x' - N &= d_1 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (15)$$

Заметим, что ошибка минутного периода реле R' , которую мы обозначили через x' , вообще говоря, может не совпадать с такой же величиной x'' для реле R'' .

Система (15) самостоятельного решения не имеет. Взяв значения Δ_2 из первой комбинации (формула 14) получаем:

$$\left. \begin{aligned} R'' - R' &= a_1 - c_1 + \Delta_2 \\ x' &= d_1 - c_1 + \Delta_2 \\ x' &= b_1 - a_1 - \Delta_2 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (16)$$

Для той же цели можно применить следующие комбинации сличений.

Переключаем второе реле на неподобную работу и производим два сличения—прямое и обратное—одних и тех же часов через эти два реле (третья комбинация). Сохранив обозначения предыдущего параграфа, мы можем написать:

$$\left. \begin{aligned} R''' + \Delta_2 - R' - \Delta_1 &= a_2 \\ R''' + x'' - R' - x' &= b_2 \\ R' + \Delta_2 - R''' - \Delta_1 &= c_2 \\ R' + x' - R''' - x' &= d_2 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (17)$$

откуда:

$$\left. \begin{aligned} R' - R''' &= \frac{1}{2} (c_2 - a_2) \\ \Delta_2 - \Delta_1 &= \frac{1}{2} [(a_2 - b_2) + (c_2 - d_2)] \\ x' - x'' &= \frac{1}{2} [(a_2 - b_2) - (c_2 - d_2)] \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (18)$$

Переключаем, затем, второе реле на подобную работу и производим аналогичные сравнения (четвертая комбинация); получаем систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} R'' - R' - \Delta_1 - x'' &= a_3 \\ R'' + \Delta_2 + x'' &= b_3 \\ R'' + \Delta_3 &= c_3 \\ R'' + x'' &= d_3 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (19)$$

откуда:

$$\left. \begin{aligned} R'' - R' &= \frac{1}{4} [(b_3 - c_3) + (a_3 - d_3)] - \frac{1}{2} (x'' - x') \\ \Delta_1 + \Delta_2 &= \frac{1}{2} [(b_3 - a_3) + (c_3 - d_3)] - (x'' - x') \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (20)$$

Уравнения (18) и (20) дают решение поставленной нами задачи.

§ 4. Влияние силы тока и натяжения пружины якоря на сигналы размыкания и замыкания.

Для выяснения наивыгоднейших условий работы хронографов были произведены следующие опыты с большим хронографом Nirra (сопротивление обмоток его электромагнитов около 75 омов).

На каждое перо хронографа включались различные часы. Условия работы одного пера сохранялись постоянными, условия работы второго пера менялись в интересующем нас направлении.

Первый опыт: влияние силы тока при не шунтированных прерывателях.

Сила тока в цепи второго пера менялась посредством изменения вольтажа батареи от 73 до 137 миллиампер, и определялись изменения инерций сигналов размыкания и замыкания по сравнению с обычными условиями. Две серии наблюдений: 15 июля и 8 апреля, привели к средним результатам помещенным в таблице I. Знак плюс отвечает замедлению сигнала, знак минус — ускорению.

Таблица I.

Приблизительное напряжение батареи в вольтах.	Сила тока в миллиамперах.	Сдвиг сигналов размыкания	Сдвиг сигналов замыкания
		I.	II.
8	73	0 ^s .000	0 ^s .000
8	93	+ 0,002	- 0,037
10	115	+ 0,003	- 0,062
12	137	+ 0,004	- 0,080

Эти данные показывают, что инерция сигналов размыкания зависит от силы тока в значительно меньшей степени, чем инерция сигналов замыкания.

Произведенное 8 апреля 1925 г. определение относительного запаздывания фазы замыкания, помещаемое в таблице II, также подтверждает это заключение.

Заметим, что найденное для силы тока в 141 миллиампер значение запаздывания сигнала замыкания (+0^s.036) находится в хорошем согласии с числом +0^s.034, полученным совершенно иным путем в 1919 и 1921 гг.¹⁾.

¹⁾ См. Временник Г. П. Вып. 1 (13) стр. 50.

Таблица II¹⁾.

Приближенное напряжение батарей в вольтах.	Сила тока в миллиамперах.	Δ -запаздывание сигнала замыкания Ш.	x	$H'' - H'$
6	74	-0 ^s ,004	-0 ^s ,077	+0 ^s ,004
8	96	+0,058	-0,082	+0,002
10	118	+0,045	-0,085	-0,001
12	141	+0,036	-0,088	+0,002

Данные таблиц I и II представлены кроме того графически на рис. 1. Второй опыт: влияние силы тока при шунтированных прерывателях.

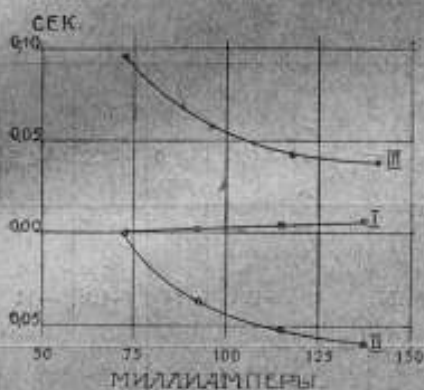


Рис. 1.

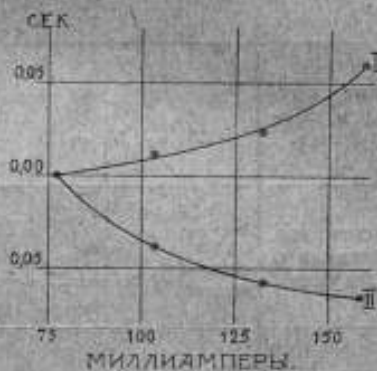


Рис. 2.

Прерыватель часов был шунтирован сопротивлением в 400 омов (в 5,3 раза больше, чем сопротивление катушек электромагнита). Общая сила тока в цепи менялась в пределах от 78 до 159 миллиампер. Результаты опыта представляются таблицей III и рис. 2.

Таблица III.

Приближенное напряжение батарей в вольтах.	Сила тока в миллиамперах.	Сдвиг сигналов размыкания I.	Сдвиг сигналов замыкания II.
6	78	0 ^s ,000	0 ^s ,000
8	101	+0,011	-0,039
10	133	+0,025	-0,059
12	159	+0,060	-0,064

Числа таблицы III ясно указывают, что наличие шунта при прерывателе часов сильно увеличивает чувствительность сигнала размыкания к колебаниям силы тока, чувствительность же сигнала замыкания остается прежней.

¹⁾ Обозначения в заголовке таблицы II соответствуют обозначениям § 2, формулы (13) и (14).

Тот же опыт был повторен при наличии омических сопротивлений, шунтирующих сами катушки хронографа. В этом случае получились числа, совпадающие с числами таблицы I, т.е. сигналы размыкания оказались значительно более устойчивыми чем сигналы замыкания.

Третий опыт: влияние натяжения якорной пружины электромагнита.

Натяжение якорной пружины одного из перьев хронографа изменялось в возможных пределах при помощи регулировочного винта. Степень натяжения пружины оценивалась числом оборотов, сделанных в сторону ослабления (—) и в сторону усиления (+) натяжения пружины, исходя из некоторого среднего (0) положения. Точно также влияние натяжения пружины оценивалось сдвигом записанных таким образом сигналов относительно сигналов, соответствующих нулевому натяжению пружины (+ запаздывание, — ускорение сигнала).

Результаты этого опыта (наблюдения 9 и 10 апреля 1925 г.) представляются таблицей IV и, более наглядно, рис. 3.

Таблица IV.

Натяжение пружины в оборотах винта.	-1,5	-1,3	-1,0	-0,8	-0,5	0	+0,5	+1,0	+1,2	+1,5	+1,7	
Сдвиг сигналов размыкания в 10^{-3} секунды	сигналы не заметны	+21	+27	+22	+15	0	-2	-11	-10	-11	-10	
Сдвиг сигналов замыкания в 10^{-3} секунды.		-57	-32	-46	-36	-24	0	+16	+66	+83	+104	+149

Отметим, что невязка некоторых точек рис. 3 (кривая влияния на сигнал замыкания) может быть вызвана неизбежными ошибками в оценке натяжения пружины (в оценке угла поворота винта).

Результаты этого опыта говорят в пользу отличающегося большим постоянством сигнала размыкания.

Четвертый опыт: влияние различных условий на результат сравнений часов.

Формула (7), служащая для определения общего параллакса π перьев показывает, что его величина существенно зависит от значений V_1 и V_2 — инерций записанных сигналов.

С другой стороны величина общего параллакса не должна сказываться на результате сравнения часов, если только введена соответствующая поправка за параллакс.

Для подтверждения этого положения был произведен ряд независимых определений величины π и результатов сличения двух часов, при чем менялись: 1) натяжение пружины, 2) вольтаж батареи (т.е. сила тока), и 3) включалась в цепь добавочная самоиндукция с железным сердечником и значительным омическим сопротивлением (около 150 омов).

Вследствие влияния этих причин параллакс π колебался: а) для сигналов размыкания в пределах от $-0^{\circ},022$ до $-0^{\circ},052$ и б) для сигналов замыкания — от $+0^{\circ},042$ до $-0^{\circ},037$, между тем как исправленные за π результаты сравнений часов совпадали в пределах точности наблюдений.

Что касается влияния омических сопротивлений, шунтирующих прерыватель часов, то при силе тока около 81 миллиампера, наличие шунта замедляло сигналы размыкания и ускоряло сигналы замыкания на обоих перьях примерно на одну и ту же величину — $0^{\circ},015$.

Определенные в этих же условиях параллаксы перьев совпадали в пределах ошибок наблюдений с параллаксами, найденными при нормальных условиях работы.

Пятый опыт: взаимодействие параллельно работающих цепей хронографа.

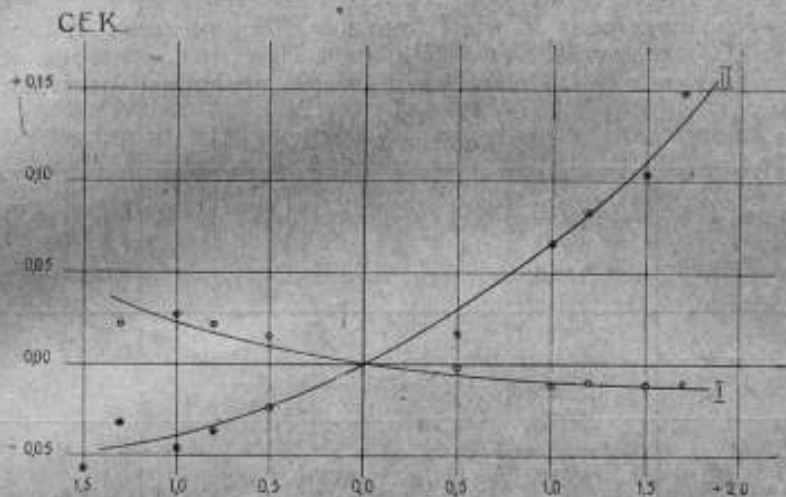


Рис. 3.

Опыты 1—4-ый были произведены в обычных условиях работы хронографов, т.е. при отдельных цепях и отдельных батареях каждого электромагнита. В случае параллельного включения обоих электромагнитов, т.е. при их работе от одной и той же батареи, возможно воздействие экстрапоков одной цепи на другую.

Для исследования этого вопроса были сделаны следующие дополнения в схеме включения приборов.

Цепь первого электромагнита хронографа была оставлена без изменений; параллельно цепи второго электромагнита была включена дополнительная цепь, состоявшая из ключа Морзе, третьего электромагнита и батареи второго пера.

Всего было произведено пять наблюдений (9—13 апреля 1925) каждый раз при несколько измененных условиях, а именно: 1) сопротивление батарейных проводов до точки разветвления близко к нулю, 2) перед точкой разветвления включено омическое сопротивление около 15 омов, 3) перед точкой разветвления ¹⁾ поставлено такое же сопротивление в 30 омов, в цепях второго и третьего электромагнитов сняты все шунты — искрогасители и 4) в цепь третьего электромагнита включен пусковой электромагнит хронографа (около 150 омов), при чем в остальном сохранены условия пункта 3.

Описанные наблюдения не показали сколь-нибудь заметного и закономерного воздействия одной цепи хронографа на другую, если не считать

¹⁾ Воздействие одной цепи на другую растет с увеличением сопротивления батарейных проводов перед точкой разветвления; см. упомянутую выше статью Б. В. Нуменова.

несколько худшей сходимости отдельных сигналов. Но так как существование такого рода взаимодействий может зависеть от специфических свойств данной установки и данных хронографов, то мы предпочитаем не основывать на результате этого опыта никаких заключений¹⁾; можно только посоветовать исследовать в каждом частном случае размеры таких взаимодействий.

Следует выделить еще один случай работы хронографов или двух релэ при их параллельном соединении, а именно, когда эти приборы управляются одним и тем же прерывателем тока от одной и той же батареи. Для выяснения этой стороны вопроса сравнивалась в течение некоторого времени работа двух релэ R' и R'' (оно же R'''), имевших сопротивления одно около 1000, а другое около 250 омов. При этом пользовались методами, изложенными в § 4. Полученные данные представлены таблицей V.

Таблица V.

1924 г.	5/vii	5/vii	6/vii	12/vii	12/vii	13/vii	13/viii	22/viii	22/viii
	I	II		I	II			I	II
Дата	набл.	набл.		набл.	набл.			набл.	набл.
$R'' - R'$ в 0,001	-74	-77	-	-72	-73	-	-80	-	-104
$R''' - R''$ в 0,001	-	+0	+2	-	-	+3	+4	+4	-

Эти цифры указывают, что сигналы двух релэ, включенных подобным образом, могут различаться весьма существенно.

§ 6. Выводы. Опыты, описанные в предыдущем параграфе, позволяют высказать следующие замечания:

а) При раздельных батареях и при применении прерывателей тока (часы, саморегистрирующий микрометр и т. п.), не шунтированных омическими сопротивлениями:

1) колебания силы тока в цепи хронографа вызывают ничтожные колебания инерции сигналов размыкания, но значительные изменения инерции сигналов замыкания; последние изменения тем больше, чем меньше рабочий ток хронографа.

2) изменения силы натяжения якорной пружины сказываются на инерции сигналов размыкания в значительно меньшей степени, чем на инерции сигналов замыкания.

3) влияние колебаний силы натяжения пружины на сигналы размыкания тем менее заметно, чем больше натяжение пружины; влияние колебаний в натяжении пружины на сигналы замыкания несколько ослабляется с уменьшением натяжения пружины.

б) При применении прерывателей тока, шунтированных омическими сопротивлениями:

1) наличие сопротивлений, шунтирующих прерыватель тока, вызывает систематический сдвиг сигналов, ускоряя сигналы замыкания и замедляя

¹⁾ Ф. Ф. Ренд в своей статье (Изв. ГРАО № 96), указывает, что взаимодействие параллельных цепей применяемого им хронографа сказывается главным образом на сигналах замыкания.

сигналы размыкания; величина этого сдвига существенным образом зависит от отношения:

$$\frac{r_1}{r_1 + r_2}$$

где r_1 и r_2 соответственно сопротивления электромагнитов хронографа и шунта, а также от вольтажа батареи.

2) сигналы размыкания отличаются большим постоянством при малом рабочем токе хронографа (порядка 80 миллиампер), сигналы замыкания наоборот при сравнительно большем рабочем токе хронографа (порядка 150 миллиампер).

Эти замечания выясняют почти все стороны работы хронографов. Неясным остается только вопрос о применимости сказанного к случаю общей батареи, питающей все цепи хронографа. Прямой опыт позволил только заметить, что в этих условиях ухудшается сходимость отдельных сигналов, между тем как в литературе имеются указания, что при общей батарее сигнал размыкания менее надежен¹⁾. С другой стороны высказываются мнения и о безусловной предпочтительности сигналов размыкания²⁾.

Такое разногласие в мнениях приходится, повидимому, отнести за счет специфических особенностей каждой из хронографических установок.

Поэтому, оставив вопрос о взаимодействии параллельных цепей хронографа (при общей батарее) открытым, полагаю, что сигналы, даваемые размыканием тока в цепи хронографа, следует несомненно предпочесть, при условиях:

1. Что каждое перо хронографа питается отдельной батареей.
2. Что сопротивления—искрогасители шунтируют катушки хронографа, но не прерыватели тока.
3. Что пользуются сравнительно малым рабочим током, при возможно сильном натяжении якорной пружины.

¹⁾ Ф. Ф. Ренц. Изв. ГРАО № 96.

²⁾ Б. В. Нумеров. Бюл. Астр. Ин-та № 9, стр. 63—ноябрь 1925 г. И. Д. Жонглович. Записки по Гидрографии, Т. 46, стр. 109.

О ПРИЕМЕ РИТМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ПО ИЗМЕНЕННОМУ СПОСОБУ
W. E. и F. B. COOKE.

Б. И. Рак.

В пятой книжке журнала *Monthly Notices* за 1917 год (том 77-й) W. E. и F. B. Cooke предложили новый метод для приема ритмических радиотелеграфных сигналов времени. Удачное и легко осуществимое изменение этого метода, принадлежащее Н. Х. Прейпичу, описано им в „Известиях Русского Астрономического Общества“ (выпуск XXV, №№ 5—9; 1924 г.). В настоящей статье теория измененного способа Куков излагается в иной и более полной математической обработке, чем это сделано в работе Н. Х. Прейпича.

1. Схема установки. Прием сигналов по измененному методу Куков производится при помощи контактного хронометра, который будучи включен

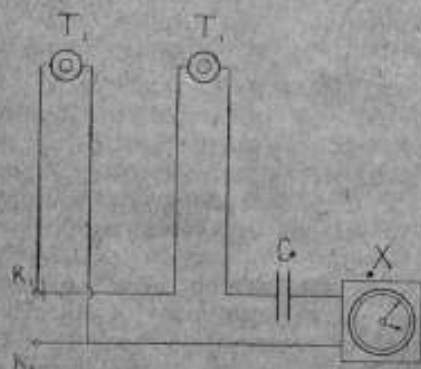


Рис. 1.

в цепь, замыкает ее на полсекунды и на столько же времени размыкает. Схема установки заключается в следующем. К телефонным зажимам приемника присоединяются параллельно два одноухих телефона, при чем в цепь одного из них включается последовательно хронометр. Если применяется усилитель, то в цепь того же телефона необходимо еще включить конденсатор емкостью от 0,5 до 2 микрофард; он служит для ослабления звуков, вызываемых размыканием и замыканием контакта хронометра. На рис. 1, K_1 и K_2 — зажимы приемника, T_1 и T_2 — телефоны; в цепь первого из них включен конденсатор C и хронометр X . Телефон T_1 мы будем называть главным.

Предположим, что сигнал произошел в тот момент, когда хронометр X был замкнут. Энергия сигнала распределится между обоими телефонами, но, как показал опыт, телефоны можно подобрать и урегулировать так, что звук будет слышен только в T_1 . Если в момент сигнала хронометр X разомкнут, то вся энергия сигнала направляется в телефон T_2 . Таким образом ни один сигнал не пропадет, а будет слышен или в одном или в другом телефоне, и если необходимо вести счет сигналам, то это можно делать непрерывно. В применении к ритмическим сигналам времени это значит, что мы можем считать их обычным способом, т. е. начав счет в каждой серии с нуля, продолжать его далее без пропусков.

2. Расположение сигналов при приеме. Пусть хронометр замыкает цепь в 0,5; 1,5; 2,5 и т. д., а размыкает ее в целые секунды. Это графически изображено на рис. 2, нижняя строка которого соответствует хронометру. Те периоды, когда цепь замкнута, отмечены сплошной чертой. В верхней строке нанесены ритмические сигналы, или „точки“, продолжительностью которых мы на время пренебрежем. Промежуток времени между последовательными сигналами, измеренный в секундах хронометра, мы обозначим через $1-k$. Величину k можно назвать относительным ходом часов, подающих сигналы и хронометра.

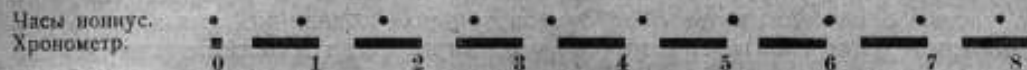


Рис. 2.

Положим, что в некоторый момент произошло точное совпадение сигнала с размыканием хронометра. Назовем этот сигнал нулевым и для простоты примем, что соответствующее показание хронометра также был 0. Так как промежуток между двумя соседними точками менее одной секунды на k , то сигнал с номером 1 опередит первую секунду хронометра, или, точнее, его первое размыкание, на k ; второй сигнал опередит вторую секунду на $2k$, третий—на $3k$ и т. д. Сперва сигналы будут попадать на те периоды, когда цепь замкнута, и поэтому они будут слышны в главном телефоне. Постепенно опережая моменты размыкания точки будут приближаться к замыканию, и в конце концов обгонят и его. Тогда сигналы будут уже слышны не в главном телефоне, а во втором. Здесь произойдет аналогичное явление. Сигналы начнут подходить к размыканию, и спустя некоторое время снова появятся в главном телефоне. Далее картина начнет повторяться, и мы будем слышать ряд точек, которые возникая в одном телефоне, затем будут в нем исчезать и сейчас же появляться в другом.

Обращаясь к нашему чертежу, мы видим, что точки 0, 1, 2, 3 слышны в телефоне T_1 , а 4, 5, 6—в T_2 . Точки 7 и 8 снова слышны в главном телефоне.

Описанный нами нормальный порядок может измениться в одном случае. Раз в минуту хронометр замыкается не на полсекунды, а на полторы; это делается для того, чтобы при употреблении хронографа иметь возможность легко расставить на ленте номера секунд. Понятно, что всякий сигнал, случившийся в эти полторы секунды, попадет в телефон T_1 .

3. Способ приема. Предположим, что мы имеем ряд точек (серию), внутри которого произошел один или несколько раз переход сигналов из одного телефона в другой. Оставляя в стороне крайние сигналы всего ряда, мы относительно других точек, услышанных в телефонах первыми или последними, можем утверждать, что они ближе остальных подходят к моментам размыкания или замыкания цепи хронометром. Приближенно можно считать эти события одновременными, и тогда, ясно, в чем должен заключаться прием. Начав в каждой серии счет с нуля, надо записать номера тех точек, которые при переходе сигналов из одного телефона в другой были последними или первыми, а также отметить соответствующие показания хронометра. Это всегда будут целые секунды или их половины, а потому запись не доставит затруднений. В некоторых случаях и крайние точки серий могут принадлежать к числу тех, которые надо записать. В дальнейшем мы увидим, что промежутки между записанными моментами подчиняются определенной зависимости. Зная ее, почти всегда можно решить, как поступить с начальным или конечным сигналом!

С первого взгляда может показаться, что следует отмечать четыре рода событий: появления и исчезновения точек в главном телефоне и такие же явления во втором. Но не говоря о том, что близость некоторых из этих явлений между собой весьма затрудняет совместное их наблюдение, другие соображения заставляют значительно сократить такую программу. До сих пор мы пренебрегали продолжительностью ритмического сигнала. В действительности это неверно, и сигналы имеют заметную длину; на чертеже их следовало бы изобразить черточками. В практике длительность сигналов непосредственно сказывается в том, что вблизи моментов перехода один и тот же сигнал частью попадает в главный телефон, а частью в вспомогательный. Следовательно, появление сигналов в том или ином телефоне будет отмечено уже тогда, когда только начало сигнала попало в цепь телефона. Наоборот, последним слышимым сигналом будет тот, конец которого еще остается в цепи. В результате выходит, что наблюдения появлений мы относим к началу сигналов, а наблюдения исчезновений к концу. Чтобы объединить такие наблюдения, необходимо иметь длину сигнала. Ясно, что надо остановиться или на появлениях или же на исчезновениях.

Посмотрим теперь, насколько сравнимы между собой наблюдения сделанные в разных телефонах. Для определенности положим, что записывались появления. Появления в главном телефоне мы считаем одновременными с размыканиями цепи хронометра, а во втором — с замыканиями. Чтобы связать между собой эти наблюдения мы должны знать, какой промежуток времени отделяет размыкание хронометра от замыкания. Известно, что он не равен точно половине секунды, и зависит от положения контактного приспособления в хронометре. Поэтому моменты, полученные с каждым из телефонов между собой несовместимы; что же касается величины $1-k$, то здесь оба телефона дают однородные результаты.

В итоге наших рассуждений мы видим, что можно ограничиться наблюдениями в одном телефоне, избрав или одни появления или только исчезновения. Для увеличения точности в определении промежутка между двумя соседними точками можно присоединить наблюдения однородных событий в другом телефоне. Основным телефоном лучше избрать главный, то-есть T_1 . В самом деле, исчезновения наблюдать трудней, чем появления, а из них лучше остановиться на тех, которые происходят около размыкания, так как оно более постоянно, чем замыкание. В дальнейшем мы будем говорить только о появлениях в телефоне T_1 .

Появление точки всегда происходит несколько раньше размыкания цепи хронометром. Записанные нами целые секунды соответствуют размыканию, а не моменту появления точки. Поэтому отмеченное показание хронометра будет слишком велико, а его ошибка всегда положительна. Минимум этой ошибки $0'$, а максимум k'' . Первое утверждение очевидно, а второе вытекает из того, что ошибка первой появившейся точки не может быть более k ; если бы она превзошла эту величину, то и предыдущая точка попала бы в телефон, так как каждая точка по сравнению с предыдущей уходит на k секунд вперед относительно размыкания.

Таким образом, в нашем способе приема ошибки наблюдений имеют односторонний характер, и их обработка должна производиться несколько иначе, чем обыкновенно.

4. Величина промежутка между появлениями. Возьмем два соседних появления в главном телефоне. Мы уже видели, что после первого из них сигналы будут слышны в главном телефоне, затем перейдут во вспомогательный и, наконец, снова появятся в первом. Пусть это произошло на p -ой точке после начального появления, так что $(p-1)$ -ая точка

была слышна еще в T_2 . Поставим себе задачей определить, какие значения может принимать p при данном k .

Положим, что первое появление имеет ошибку Δ , т.е. предшествует некоторой секунде хронометра на Δ ; уже было указано, что эта величина заключена между 0 и k . Следующие точки будут происходить ранее соответствующих секунд хронометра на $\Delta+k$, $\Delta+2k$, $\Delta+3k$ и т.д. Когда такое упреждение составит более $0,5$, то сигналы перейдут во второй телефон, а когда оно превзойдет секунду, то они снова появятся в главном телефоне. Поэтому для точки p будем иметь неравенство: $\Delta+pk > 1$, а для предыдущей, которая была слышна во вспомогательном телефоне: $\Delta+(p-1)k < 1$.

В некоторых случаях могут встретиться такие сигналы, которые точно совпадают с концом размыкания, или, как мы скажем для краткости, с секундой хронометра. Оставаясь на чисто теоретической почве, следовало бы условиться, к какому из телефонов отнести эти сигналы. Практически они могут быть отнесены иной раз к T_1 , а другой к T_2 . Поэтому в каждом из полученных выше неравенств возможен знак равенств, и для суждения о величине p имеем условия:

$$\begin{aligned} \Delta+pk &\geq 1, \\ \Delta+(p-1)k &\leq 1. \end{aligned}$$

Обозначим крайние возможные значения для p через p_1 и p_2 . Мы получим их, если один раз положим $\Delta=0$, а другой раз $\Delta=k$. Решая неравенства, легко находим:

$$\frac{1}{k} + 1 \geq p_1 \geq \frac{1}{k}$$

и

$$\frac{1}{k} \geq p_2 \geq \frac{1}{k} - 1.$$

Объединяя эти строки, имеем:

$$\frac{1}{k} + 1 \geq p_1 \geq p_2 \geq \frac{1}{k} - 1.$$

Крайние члены отличаются на 2. Поэтому разность между p_1 и p_2 может быть равной одному из чисел 0, 1 и 2.

Случай $p_1 - p_2 = 2$ должен встречаться редко. Действительно, условия для его возникновения можно формулировать еще так: а) $\frac{1}{k}$ есть число

целое, ибо $p_1 = \frac{1}{k} + 1$ и $p_2 = \frac{1}{k} - 1$; б) ошибка одного из сигналов

равна нулю. Поясним этот случай примером. Предположим, что $\frac{1}{k} = 26$,

и что ошибка некоторого сигнала была нуль. Тогда 26-ая и 52-ая точки тоже будут иметь ошибку нуль. Если допустить, что крайние точки были услышаны в главном телефоне, а средняя во вспомогательном, то мы получим появления на 0, 27 и 52-ой точках. Следовательно, второе появление произошло после первого на 27-ой точке, а третье после второго на 25-ой. Оба числа отличаются между собой на два.

Числа p указывают, сколько секунд проходит между соседними появлениями по часам подающим сигналы. Мы видим, что за редкими исключениями в одном и том же приеме два последовательных появления могут быть отделены промежутками только двух родов, различающихся между собой на один сигнал. Большой промежуток мы назовем нормальным, а меньший — укороченным. Промежутки, меньшие на 2 сигнала, мы назовем особыми.

Сохраним обозначение p для числа точек в нормальном промежутке; тогда в укороченном промежутке их будет $p-1$, а изредка будут встречаться „особые“ промежутки в $p-2$ точки. Между моментами, записанными по хронометру, будет проходить $p-1$, $p-2$ и $p-3$ секунды. Для p мы имеем неравенства:

$$\frac{1}{k} + 1 \geq p \geq \frac{1}{k} \dots \dots \dots (1)$$

5. Общий вид ошибки каждого появления. Положим, что мы имеем появление, ошибка которого Δ . Предположим еще, что следующее появление отделено от взятого нормальным промежутком, и, следовательно, происходит на p -ой точке. На основании сказанного в предыдущем параграфе легко заключить, что ошибка Δ' второго появления будет $\Delta + pk - 1$. Итак,

$$\Delta' = \Delta + pk - 1 \dots \dots \dots (2)$$

Если второе появление отделено от начального укороченным промежутком, то оно происходит на $(p-1)$ -ой точке, и тогда для Δ' мы получим выражение:

$$\Delta' = \Delta + (p-1)k - 1$$

или:

$$\Delta' = \Delta + (pk - 1) - k \dots \dots \dots (3)$$

Неравенства (1) перепишем в виде:

$$1 + k \geq pk \geq 1,$$

откуда:

$$pk - 1 \geq 0 \text{ и } (pk - 1) - k \leq 0.$$

Пользуясь этими формулами на основании (1) и (2), можем сказать: после нормального промежутка ошибка появления возрастает на $pk - 1$, а после укороченного — убывает на $k - (pk - 1)$. Последнее замечание дает возможность написать общую формулу, связывающую ошибку двух появлений. Предположим, что их отделяет m промежутков, из которых n укороченных. Тогда между ошибками Δ_0 начального появления и Δ_m конечного — существует зависимость:

$$\Delta_m = \Delta_0 + m(pk - 1) - nk \dots \dots \dots (4)$$

Ее можно также получить, просуммировав повторенные соответственное число раз (1) и (2). Формула (4) является основной.

Рассмотрим еще случай, когда есть особый промежуток в $(p-2)$ точки. Ошибки Δ и Δ' появлений, образующих этот промежуток, связаны формулой:

$$\Delta' = \Delta + (p-2)k - 1.$$

Так как при наличии промежутков, отличающихся на две точки, p достигает значения $\frac{1}{k} + 1$, то

$$\Delta' = \Delta - k.$$

Отсюда нетрудно заключить, что $\Delta' = 0$. Итак, можно сказать: если в приеме есть особый промежуток, то ошибка второго из появлений его образующих равна нулю, а $k = \frac{1}{p-1}$.

Полученные нами результаты дают возможность вывести разные следствия относительно чередования промежутков между появлениями. Мы отметим только одно из них: в данном приеме не могут встречаться группы и нормальных и укороченных промежутков. Возможно одно из двух: или ряд нормальных промежутков будет прерываться одним укороченным, или

наоборот, ряд укороченных будет прерываться нормальным промежутком. В крайнем случае промежуток нормальный чередуется с укороченным.

6. Определение Δ и k . Формула (3) показывает нам, что ошибки всех появлений находятся в зависимости между собой. Поэтому нашу основную задачу можно выразить так: найти те значения k и Δ_0 , при которых возможно данное чередование промежутков. Число p , которое устанавливается по одному взгляду на прием, считаем известным. Сомнение в выборе значения p может возникнуть только тогда, когда весь прием состоит из одних и тех же промежутков. Ниже (последний пример § 7) мы рассматриваем этот случай особо.

Поставленная нами задача разрешена уже выше для тех приемов, где встречаются особые промежутки. Для других приемов решаем ее так. Мы знаем, что ошибка любого появления заключена между 0 и k ; следовательно, для каждого из них можно написать неравенства:

$$0 \leq \Delta_m \leq k \dots \dots \dots (5)$$

и все эти неравенства надо рассмотреть совместно. Нет, однако, необходимости составлять все неравенства. Если, например, имеем ряд укороченных промежутков, то с каждым из них ошибка убывает, и если выполняется условие, что ошибка последнего из появлений, образующих ряд, больше нуля, то тем более это будет справедливо по отношению к предыдущим появлениям. Нетрудно составить такие правила: неравенства пишутся только для тех появлений, которые расположены между разнородными промежутками. После укороченного промежутка пишется левая часть (5), а после нормального — правая. Первое и последнее появление в приеме считаем лежащими на смене промежутков. Кроме того, необходимо иметь в виду основные неравенства (1), которые здесь напишем в двух вариантах:

$$\frac{1}{p-1} \geq k \geq \frac{1}{p} \dots \dots \dots (6)$$

и

$$1 \geq \frac{pk-1}{k} \geq 0,$$

или:

$$1 > \frac{q}{k} \geq 0 \dots \dots \dots (7)$$

где для удобства $pk-1$ обозначено через q .

Выражая все Δ_m через ошибку Δ_0 начального появления и имея в виду последнее обозначение, мы одни из неравенств (5), а именно левые, выпишем в виде:

$$nk - mq < \Delta_0 \dots \dots \dots (8)$$

а другие, т.-е. правые, в виде:

$$\Delta_0 < (n+1)k - mq \dots \dots \dots (9)$$

Сравнивая теперь левые части неравенств (8) с правыми частями неравенств (9), мы получаем ряд новых неравенств, и по ним определяем те пределы, внутри которых лежит отношение $\frac{q}{k}$, т.-е. $\frac{pk-1}{k}$. Так как p известно, то затем нетрудно найти границы и для k . Остановившись на каком-либо значении хода k , подставляем его в неравенства (8) и (9) и устанавливаем тогда наиболее тесные пределы для Δ_0 . В зависимости от принятого значения k , границы возможных значений Δ_0 будут получаться то из одного, то из другого неравенства.

7. Примеры. Первым примером мы избираем прием ритмических сигналов станции Бордо (LY; 20^h Gr. C. T.), сделанный 25 января 1926 г.

Номер сигнала	Серия	Номер сигнала в серии	Хронометр
44	I	12	4 ^h 18 ^m 50 ^s
87	II	24	20 2
180	III	36	21 14
234	IV	48	22 27

Во время наблюдений были заполнены столбцы 2, 3 и 4. В пятой серии появлений не было. Согласно с программой подачи сигналов и способом счета их внутри каждой серии, были установлены номера точек, которые и приведены в первом столбце. Образуя разности между номерами точек или между показаниями хронометра, видим, что из трех промежутков первые два укороченные, последний нормальный; $p=74$. Неравенства следует выписать для появлений I, 3 и 4, и притом следующие:

$$\Delta_1 \leq k; 0 \leq \Delta_3; \Delta_4 \leq k.$$

Так как $\Delta_3 = \Delta_1 + 2q - 2k$ и $\Delta_4 = \Delta_1 + 3q - 2k$, то после подстановки получим:

$$\begin{aligned} \Delta_1 &\leq k \\ 2k - 2q &\leq \Delta_1 \\ \Delta_1 &\leq 3k - 3q. \end{aligned}$$

Эти неравенства соответствуют неравенствам (8) и (9) предыдущего параграфа. Отсюда легко выводим:

$$k - 2q \leq 0 \text{ и } q \leq k$$

и затем

$$\frac{1}{2} \leq \frac{q}{k} \leq 1.$$

Таким образом, $\frac{q}{k}$ может принимать все значения от $\frac{1}{2}$ до 1. Так как $q = pk - 1 = 74k - 1$, то для k имеем такие крайние значения:

$$k_1 = \frac{2}{2p-1} = \frac{2}{147} = 0,013605$$

$$k_2 = \frac{1}{p-1} = \frac{1}{73} = 0,013699.$$

Примем для k среднее значение 0,013652; тогда $q = 0,0102$ и $k - q = 0,0035$. При нашем предположении относительно k , нижний предел ошибки Δ_1 равен 0,007, а верхний 0,010. Поэтому результаты приема таковы: длительность промежутка между последовательными точками $1 - k = 0,986348$; ошибка первого появления 0,008. Вместо ошибки первого появления можно дать ошибку любого из них, но следует помнить, что эти результаты нельзя считать независимыми.

Если для k избрать одно из крайних значений, то нижние и верхние пределы ошибок Δ совпадут. Возьмем в нашем примере для k значение k_2 . Тогда $q = k$ и сразу видно, что $\Delta_1 = 0$. Если $k = k_1$, то $k = 2q$ и $\Delta_1 = 2q$; $\Delta_3 = 0$.

При той программе подачи ритмических сигналов, которая принята французскими станциями с 1 января 1926 г., обыкновенно наблюдается

три или четыре появления, и в очень редких случаях пять. Для трех и четырех появлений число различных вариантов в чередовании промежутков незначительно, так что можно составить следующую таблицу.

№	Промежутки	k_1	k_2	Границы ошибок
1	$p; p-1$	$1:p$	$1:(p-1)$	$q; k-q < \Delta_1 < k$
2	$p-1; p$	$1:p$	$1:(p-1)$	$0 < \Delta_2 < q; k-q$
3	$p; p$	$1:p$	$2:(2p-1)$	$2q < \Delta_3 < k$
4	$p-1; p-1$	$2:(2p-1)$	$1:(p-1)$	$2(k-q) < \Delta_4 < k$
5	$p; p-1; p-1$	$2:(2p-1)$	$1:(p-1)$	$q; 2(k-q) < \Delta_5 < k$
6	$p-1; p; p-1$	$3:(3p-1)$	$1:(p-1)$	$q; k-q < \Delta_6 < 2q; k$
7	$p-1; p-1; p$	$2:(2p-1)$	$1:(p-1)$	$k-q < \Delta_7 < q; 2(k-q)$
8	$p; p; p-1$	$1:p$	$2:(2p-1)$	$2q; k-q < \Delta_8 < k$
9	$p; p-1; p$	$1:p$	$3:(3p-2)$	$q; k-q < \Delta_9 < k; 2(k-q)$
10	$p-1; p; p$	$1:p$	$2:(2p-1)$	$q < \Delta_{10} < 2q; k-q$
11	$p; p; p$	$1:p$	$3:(3p-1)$	$3q < \Delta_{11} < k$
12	$p-1; p-1; p-1$	$3:(3p-2)$	$1:(p-1)$	$3(k-q) < \Delta_{12} < k$

$q = pk - 1.$

Первые четыре строки этой таблицы относятся к тем случаям, когда даны два промежутка (следовательно, записаны три появления), а остальные к тем, когда имеется три промежутка. Столбцы k_1 и k_2 дают наименьшее и наибольшее из возможных значений для k . В последнем столбце помещены нижняя и верхняя границы ошибки одного из появлений, которые перенумерованы здесь так, что Δ_1 обозначает ошибку начального появления. Границы ошибок указаны в разных строках не для одного и того же появления, что сделано с целью упрощения вычислений.

Рассмотренный нами выше прием находит себе место в таблице в строке седьмой.

Если задаться целью расширить таблицу на большее число промежутков, то для четырех промежутков мы будем иметь 16 разных случаев, пяти—32, шести—64 и т. д.

В виде второго примера мы рассмотрим прием сигналов, поданных станцией Детское Село (RET) 26 февраля 1926 г.

Номер сигнала	Серия	Номер сигнала в серии	Хронометр	Разность
6	I	6	5 ^h 26 ^m 18.	56 ^s
63	II	23	27 14	110
175	V	15	29 4	111
298	VIII	8	30 55	55
344	IX	24	31 50	56
401	XI	1	32 46	55
457	XII	17	33 41	

В приемах сигналов Детского Села и Москвы (RAI) не удастся отметить более семи появлений в одном телефоне. Остальные появления падают на десятисекундные пропуски между сериями. Последний столбец показывает, что нормальный промежуток равен 56^s хронометра или 57 сигналам; поэтому $p = 57$. Между появлениями во II и V сериях прошло два укороченных промежутка.

ценных промежутка, между появлениями V и VIII серий один нормальный и один укороченный (так как $111 = 55 + 56$). Обозначим появления номерами тех серий, в которых они случились. Тогда постепенно получим:

$$\begin{array}{lll}
 0 < \Delta_1 & 0 < \Delta_1 & 0 < \Delta_1 \\
 \Delta_2 < k & \Delta_1 + q < k & \Delta_1 < k - q \\
 0 < \Delta_5 & 0 < \Delta_1 + 3q - 2k & 2k - 3q < \Delta_1 \\
 0 < \Delta_8 < k \text{ или} & 0 < \Delta_1 + 5q - 3k < k \text{ откуда} & [3k - 5q] < \Delta_1 < [4k - 5q] \\
 0 < \Delta_9 & 0 < \Delta_1 + 6q - 4k & 4k - 6q < \Delta_1 \\
 \Delta_{11} < k & \Delta_1 + 7q - 4k < k & \Delta_1 < 5k - 7q \\
 0 < \Delta_{12} & 0 < \Delta_1 + 8q - 5k & [5k - 8q] < \Delta_1.
 \end{array}$$

Для Δ_8 пришлось выписать оба неравенства, так как неизвестно, в какой последовательности шли перед этим появлением промежутки, сперва ли укороченный, потом нормальный или наоборот. Чтобы упростить вычисления, сделаем еще следующие замечания относительно последнего столбца. Так как $k - q > 0$, то $4k - 6q > 3k - 5q$; поэтому левое неравенство четвертой строки поглощается таким же неравенством следующей строки, и по этой причине взято в скобки. Из сравнения второй и третьей строк нетрудно вывести, что $k - 2q < 0$, а отсюда следует, что $5k - 8q < 4k - 6q$ и $4k - 5q > 5k - 7q$; в результате мы можем исключить еще два неравенства. Оставшиеся неравенства в более сжатом виде напишем так:

$$\begin{array}{l}
 0 < \Delta_1 < k - q. \\
 2k - 3q < \Delta_1 \dots \dots \dots (a) \\
 4k - 6q < \Delta_1 < 5k - 7q.
 \end{array}$$

и по ним легко получим:

$$\frac{3}{5} \leq \frac{q}{k} \leq \frac{5}{7}.$$

Следовательно,

$$k_1 = \frac{5}{282} = 0,017730,$$

$$k_2 = \frac{7}{384} = 0,017766.$$

Остановившись на среднем значении, находим $k = 0,017748$; $1 - k = 0,982252$; $q = 0,011636$. Вычисляем теперь выражения, входящие в неравенства (a); для левых частей получаем $0,0006$; $0,0012$, а для правых $0,0061$ и $0,0072$. Следовательно, Δ_1 заключено между $0,001$ и $0,006$, и можно принять, что $\Delta_1 = 0,004$.

Третий пример мы возьмем общего характера. Положим, что в течение всего приема повторялся один и тот же промежуток. Тогда его можно принять и укороченным и нормальным. Положим сперва, что это нормальный промежуток, так что ошибки появлений все время увеличиваются. Неравенства следует составить только для конечных появлений, при чем для начального появления выписывается неравенство $0 \leq \Delta_n$, а для конечного $\Delta_m \leq k$. Так как $\Delta_m = \Delta_n + mq$, то

$$0 \leq \Delta_n \leq k - mq,$$

откуда следует, что

$$k \leq \frac{mq}{m-1}.$$

Неравенство (6) дает еще условие $\frac{1}{p} \leq k$, так что окончательно

$$\frac{1}{p} \leq k \leq \frac{m}{mp-1} \dots \dots \dots (b)$$

Примем теперь, что мы имеем дело с укороченным промежутком, состоящим из $p-1$ сигналов. Ошибки появлений убывают, и мы составляем неравенства $\Delta_e \leq k$ и $0 \leq \Delta_m$. На основании равенства $\Delta_m = \Delta_e + mq - mk$ и неравенства (6), находим:

$$\frac{m}{m(p-1)+1} \leq k \leq \frac{1}{p-1} \dots \dots \dots (c)$$

Заметим, что в этом неравенстве $p-1$ численно равно p в неравенстве (b), так что нижняя граница для k в (b) и верхняя граница в (c) совпадают. Если нет никаких указаний на то, имеем ли мы дело с укороченным или нормальным промежутком, то естественно для k принять это общее значение; оно равно единице, деленной на число сигналов в промежутке. Остановившись на этом значении для k , далее мы получим один и тот же результат как при одном, так и при другом предположении относительно характера промежутка. Выходит, что все сигналы имеют одну и ту же ошибку, заключенную между 0 и k ; поэтому приходится принять ее равной $\frac{k}{2}$.

Если приемы совершаются регулярно, то по характеру соседних дней, можно отличить нормальный промежуток от укороченного, и тогда надо воспользоваться либо неравенствами (b), либо (c). Это обстоятельство и предусмотрено в таблице на стр. 65; см. случаи 3 и 4, 11 и 12.

9. Упрощенная обработка. Изложенный нами способ обработки является удобным только при малом числе появлений, когда все возможные комбинации промежутков укладываются в небольшую таблицу, как это и сделано выше. При большем числе появлений необходимо каждый раз решать систему неравенств, а это затруднительно. В этом случае полной обработкой следует пользоваться лишь тогда, когда требуется максимальная точность, в обыкновенных же условиях можно поступать проще.

Назовем однородными такие появления, возле которых чередование укороченных и нормальных промежутков одинаково; чем больше промежутков расположится таким образом, тем выше однородность появлений. Из предыдущего изложения нетрудно заключить, что у однородных появлений ошибки ближе к равенству между собой, чем у прочих. Поэтому, если взять возможно удаленные друг от друга однородные появления, то по ним можно определить k без значительной погрешности. Обратимся ко второму примеру предыдущего параграфа. Мы видим, что после первого появления идут промежутки в 56° , 55° , 55° ; в конце приема промежутки равны 56° и 55° . Перед первым появлением должен быть промежуток в 55° а не 56° , так как в приеме есть группа, состоящая из двух укороченных промежутков, и следовательно, два нормальных промежутка стоят рядом не могут (см. конец § 6). Все это показывает, что появления в первой и девятой сериях можно принять однородными. Отсюда вытекает, что 338 сигналов соответствует $5^m 32^\circ$, и $1-k=0^\circ,982249$. Этот результат очень близко подходит к прежнему.

Определив $(1-k)$, приведем все наблюдения к одной и той же эпохе и уменьшим каждый из моментов, или просто среднее из них, на $\frac{k}{2}$. Тогда ошибки потеряют свой односторонний характер и в среднем в значительной степени исключатся.

В нашем примере середина приема соответствует 248-му сигналу; проводя все наблюдения к 250-му, получим:

сигнал	6	$5^h 30^m 17^s,669$
	63	17,681
	175	17,669
	288	17,675
	344	17,669
	401	17,680
	457	17,674
<hr/>		
среднее	$5^h 30^m 17^s,674$	
	$-\frac{k}{2}$	$-\,009$
результат	$5^h 30^m 17^s,665.$	

Тот же момент 250-го сигнала дает и полная обработка.

Во многих случаях наблюдателя интересует только момент середины принятых им сигналов. Тогда k надо знать приближенно, и поэтому нет необходимости долго останавливаться на подыскании однородных появлений, а можно просто взять крайние наблюдения.

В заключение заметим, что прием сигналов по видеоизмененному способу Куков производится в Главной Палате мер и весов уже три года. За это время выяснилась его полная пригодность в практическом отношении. Оказалось, что новый метод утомляет наблюдателя значительно меньше, чем обычный способ, когда отмечаются совпадения ударов хронометра с сигналами, и дает большую точность. Случайных ошибок при нормальных условиях бывает немного, и личные ошибки приема ничтожны. Некоторые подробности по этим вопросам можно найти в статье: „Служба времени Главной Палаты мер и весов в 1923—1925 г.г.“, помещенной в этом же выпуске „Временника“. Сравнение способа Куков с автоматическим приемом обнаружило между ними разность около $0^s,01$, при чем запись отстает. Таким образом, высокая точность метода Куков может считаться доказанной.

ПЛАТИНОВЫЕ ТЕРМОМЕТРЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ.

Н. А. Маренин.

Глава I. Общие сведения о платиновом термометре.

Газовый термометр (водородный), осуществляющий международную шкалу температур, не применяется, за редким исключением, для непосредственного измерения, так как этот прибор обладает качествами, препятствующими к применению для обычных измерений: он чрезвычайно громоздок, не переносим с места на место и не позволяет измерять температуру в небольшом пространстве, вследствие большого размера своего резервуара. Поэтому, при помощи газового термометра определяют только некоторые вполне постоянные точки шкалы температур — так называемые реперы (по предложению Ch. Ed. Guillaume), осуществляемые при помощи каких-либо физических явлений, — обыкновенно это или температура затвердевания, или температура кипения химически постоянных веществ. Число этих температурных репер должно быть возможно больше и они должны возможно равномернее распределяться в области температур, доступных измерению. Накопление материала этого рода составляет ближайшую задачу термометрии. Таблица I дает сводку постоянных точек температурной шкалы, приведенную Ch. Ed. Guillaume в *Travaux et Mémoires du Bureau International des Poids et Mesures*. 1923.

Для обычных измерений температуры применяются термометры, показания которых сравнены с газовым термометром либо непосредственно, либо при помощи репер — в последнем случае необходимо знать закон, по которому изменяются поправки термометра, хотя бы в интервале от одной реперы к другой.

Целый ряд физических явлений может быть использован для целей термометрии; в настоящее время применяются, главным образом, следующие зависимости свойств тел от температуры: изменение линейных размеров или объема, изменение электрического сопротивления, электродвижущая сила термопары и радиационные явления. Важное условие, которому должен удовлетворять каждый термометр — это строгая воспроизводимость, т. е. показания термометра должны быть функцией только температуры и не зависеть от предшествующей истории прибора. Кроме того, хороший термометр должен удовлетворять еще следующим требованиям: он должен иметь малую тепловую инерцию, т. е. прибор должен быстро принимать температуру окружающего пространства и должен давать возможность измерять температуру в малом ограниченном пространстве; обращение с прибором и отчет должны быть просты. Ни один из применяемых на практике термометров не обладает всеми этими качествами в полной мере.

Термометры, основанные на расширении жидкостей, например, ртутные, просты в обращении; однако, в тех случаях, где требуется высокая степень точности, калибровка их, сопряженная с длительными измерениями, и необходимость принимать ряд предосторожностей и поправок, заставляют в настоящее время при фундаментальных исследованиях отказаться от ртутного термометра.

Таблица I.
Постоянные точки температурной шкалы по водородному (гелиевому) термометру.

Вещество	Температура затвердевания	Веще- ство	Температура затвердевания	Вещество	Температура кипения	Давление в ж.м. Hg
He	меньше $-271,0^{\circ}\text{C}$	Sn	$+231,86^{\circ}\text{C}$	He	$-271,0^{\circ}\text{C}$	3
H	-259°C	Bi	$+271,0^{\circ}\text{C}$	He	$-108,5^{\circ}\text{C}$	760
O	$-218,4^{\circ}\text{C}$	Cd	$+320,0^{\circ}\text{C}$	H	$-252,8^{\circ}\text{C}$	760
N	$-210,5^{\circ}\text{C}$	Pb	$+327,4^{\circ}\text{C}$	O	$-183,0^{\circ}\text{C}$	760
Изопентан	$-158,05^{\circ}\text{C}$	Zn	$+419,4^{\circ}\text{C}$	H ₂ O	$+ [100,00 + 0,0370 (p - 760)]^{\circ}\text{C}$	
Пентан	$-130,5^{\circ}\text{C}$	Sb	$+680,7^{\circ}\text{C}$	Нафталин	$+ [218,00 + 0,0583 (p - 760)]^{\circ}\text{C}$	
Этиловый эфир	$-117,6^{\circ}\text{C}$	Al	$+658^{\circ}\text{C}$	Бензофенон	$+ [305,9 + 0,063 (p - 760)]^{\circ}\text{C}$	
CS ₂	$-112,0^{\circ}\text{C}$	Hg	$+900^{\circ}\text{C}$	Hg	$+ [357,0 + 0,076 (p - 760)]^{\circ}\text{C}$	
Толуен	$-94,5^{\circ}\text{C}$	Au	$+1065^{\circ}\text{C}$	S	$+ [444,58 + 0,090 (p - 760)]^{\circ}\text{C}$	
CO ₂	$-78,31^{\circ}\text{C}$	Cu	$+1083^{\circ}\text{C}$	Se	$+ [690 + 0,10 (p - 760)]^{\circ}\text{C}$	
Hg	$-88,8^{\circ}\text{C}$	Ni	$+1452^{\circ}\text{C}$	Cd	$+ [778 + 0,11 (p - 760)]^{\circ}\text{C}$	
H ₂ O	$0,00^{\circ}\text{C}$	Co	$+1490^{\circ}\text{C}$	Zn	$+ [918 + 0,12 (p - 760)]^{\circ}\text{C}$	
Nb ₂ S	$+32,383^{\circ}\text{C}$	Pd	$+1549^{\circ}\text{C}$			
NaBr	$+50,072^{\circ}\text{C}$	Pt	$+1758^{\circ}\text{C}$			
		W	$+3400^{\circ}\text{C}$ (приближен- тельно)			

Термопара имеет важное и ценное преимущество малого объема измеряющей части, практически сводящейся к точке; однако, термопара не надежна, она не обладает постоянством и требует частого сравнения с эталоном.

Термометр сопротивления имеет за собой почти все необходимые качества хорошего прибора, а поэтому он широко применяется в настоящее время не только при научных работах, требующих большой точности, где он завоевал себе почетное место, но и в технических измерениях. Почти исключительно применяется платиновый термометр сопротивления, далеко превосходящий ртутный в точности и надежности, а также и объемом своей шкалы, простирающейся от -180°C до $+1000^{\circ}\text{C}$. Sir William Siemens первый применил для измерения температуры изменение сопротивления проводника. Платиновый термометр сопротивления был впервые предложен им в 1871 году; тонкая платиновая проволока, навитая на фарфоровый цилиндр и защищенная огнестойкой оболочкой, помещалась в пространство, температуру которого нужно было определить, и сопротивление ее измерялось при помощи мостика Витстона, видоизмененного так, чтобы влияние сопротивления соединительных проводов исключалось, — это достигалось тем, что одна из вершин мостика была перенесена в самый термометр. Однако, предложенная им конструкция термометра была неудовлетворительна и комиссия Британской Ассоциации в 1872—73 г.г. дала неблагоприятный отзыв о постоянстве показаний этого термометра. Несмотря на то, что Siemens усовершенствовал вскоре свой прибор, исключив замеченные недостатки, предложенная вскоре Le Chatelier во Франции и Wagnon в С.-А. Соединенных Штатах известная термопара Pt—PtRh 10% надолго задержала развитие термометра сопротивления, который не мог конкурировать с термометром Le Chatelier простотой устройства и обращения.

Между 1887 и 1896 годами термометр сопротивления снова появляется, как научный измерительный прибор высокого качества, благодаря трудам Callendar'a, E. H. Griffiths'a, Heycock'a, Neville'я и др., которые усовершенствовали его и показали, что он обладает чрезвычайно высокой степенью точности.

В 1886 году Callendar произвел прямое измерение сопротивления платиновой ¹⁾ проволоки при разных температурах, для чего платиновая проволока, возможно чистая химически, сопротивления около 20 ом при комнатной температуре, была помещена внутри резервуара газового термометра. В результате его исследования оказалось, что, при достигнутой им точности измерения температуры в 1 градус, закон изменения сопротивления платины, в пределах температуры между -50°C и $+500^{\circ}\text{C}$ может быть выражен уравнением второй степени, т.е.

$$R_t = R_0(1 + \alpha t + \beta t^2). \dots \dots \dots (1)$$

Исследования Chappui, Harker'a, Holborn'a, Henning'a и других, работавших более совершенными методами и приборами, установили, что в интервале между -80°C и $+1100^{\circ}\text{C}$ для проволок из очень чистой платины этот закон остается справедливым с большой степенью точности, и коэффициенты степеней температуры выше второй чрезвычайно малы. По Henning'у разница между температурой, вычисленной по уравнению (1) и непосредственно измеренной гелиевым термометром, не превышает 0,01 градуса на протяжении всего интервала -80°C — $+1100^{\circ}\text{C}$. Вместо вычисления температуры по формуле (1), Callendar предложил свою формулу и терминологию, вошедшие во всеобщее употребление; именно,

¹⁾ Phil. Trans. Roy. Soc. 1887, p. 161—230.

он называет „платиновой температурой“ (platinum temperature) или t_p — температуру, вычисленную по формуле:

$$t_p = \frac{R_t - R_0}{R_{100} - R_0} \cdot 100 \dots \dots \dots (2)$$

или:

$$t_p = \frac{R_t}{a R_0} - \frac{1}{a} \dots \dots \dots (2 \text{ bis})$$

где R_t — сопротивление при измеряемой температуре, R_{100} и R_0 — сопротивления при 100°C и 0°C , a — коэффициент, определяемый соотношением $a = \frac{R_{100} - R_0}{R_0 \cdot 100}$; разность между R_{100} и R_0 Callendar называет основным интервалом и обозначает через Int . Искомая температура по водородной шкале вычисляется тогда из такого уравнения:

$$t_H = t_p + \delta \left(\frac{t_H}{100} - 1 \right) \frac{t_H}{100} \dots \dots \dots (3)$$

Здесь δ — коэффициент, равный приблизительно 1,50 и характеризующий чистоту платины. Вычисление температуры по этой формуле производится путем последовательного приближения, с желаемой степенью точности. Коэффициенты формулы (1) α и β связаны с коэффициентами формул (2) и (3) Callendar'a следующим образом:

$$\alpha = a(1 + \delta \cdot 10^{-4}), \quad \beta = -a\delta \cdot 10^{-4} \dots \dots \dots (4)$$

или

$$\alpha = a + 100\beta, \quad \delta = -\frac{10000\beta}{a + 100\beta} \dots \dots \dots (4 \text{ bis})$$

Для определения величин R_0 , α и β или R_0 , a , δ в формуле Callendar'a необходимо знать величины сопротивления проволоки, по крайней мере, при трех температурах. Смотря по тому, для каких областей измерений предназначен термометр, берутся соответственно и точки градуировки. Исследования Henning'a в Physikalisches-Technische Reichsanstalt и Waindner и Burgess'a в Bureau of Standards Washington показали, что калиброванный по трем точкам 0 , $+100^\circ\text{C}$ и $+444,5^\circ\text{C}$ (температура кипения серы) платиновый термометр при интерполяции по формуле Callendar'a, дает с газовым (гелиевым или водородным) термометром расхождение, меньшее $0,01$ градуса, при экстраполяции же в область выше 450°C , — хотя и получаются значительно большие расхождения, все же они остаются порядка точности самого газового термометра, чрезвычайно мало точного при высоких температурах. Для областей температур ниже 0° , термометр, калиброванный по точкам 0 , $+100^\circ$ и $+444,5$, пригоден только до -80°C , и для измерений ниже этих температур необходимо градуировать по другим точкам — обыкновенно это 0° , -78°C (температура испарения твердого углеродного ангидрида CO_2) и -193°C (температура кипения чистого кислорода O_2 при нормальном давлении). Ниже -193°C сопротивление платины изменяется очень неправильно и различные термометры дают несравнимые показания. Для измерения таких низких температур наиболее пригодными оказались свинцовые термометры.

Таким образом, шкала платинового термометра сопротивления охватывает весьма солидный интервал от -190°C до $+1100^\circ\text{C}$; однако, для точных измерений следует ограничиться областью от -40°C до $+700^\circ\text{C}$ (по Burgess'у до $+900^\circ\text{C}$ и даже до $+1000^\circ\text{C}$), где, оказывается, можно гарантировать как неизменность постоянных, так и совпадение с газовой шкалой (гелиевой или водородной) до нескольких сотых долей градуса. Громадное значение для точности показания термометра играет чистота употребленной на его изготовление платины, а также отсутствие в прово-

локе каких-либо натяжений и деформаций. Прекрасным показателем чистоты платины служит коэффициент δ в формуле (3) Callendar'a, численное значение которого уменьшается по мере очистки платины, приближаясь к некоторому пределу, лежащему между 1,51 и 1,48; проволока из нечистой платины всегда имеет величину коэффициента δ больше, чем 1,51.

По величине этого коэффициента можно судить о чистоте той платины, которая употреблена на изготовление термометра и, при наличии величины δ большей 1,51, принять соответственные меры, т. е., как показал Buttress, произвести градуировку не при трех температурах, а при четырех, напр., взяв еще температуру затвердевания Ag (см. таблицу I), и вместо постоянной величины подставить переменную, положив $\delta = \delta_0 + \delta t$. При этих условиях шкала такого термометра, изготовленного из нечистой платины, снова совпадает удовлетворительным образом со шкалой газового термометра. Численная величина второго коэффициента a формулы Callendar'a, колеблется, по наблюдению Henning'a, от 0,00386 до 0,00392; постоянство этого коэффициента в сильной степени зависит от удачной конструкции термометра и режима его работы. Чрезвычайно важно, чтобы рабочая проволока была так подвешена, чтобы исключить возможность возникновения всяких натяжений и деформаций, во-первых, и химического воздействия на платину материала поддержек, во-вторых. Для уничтожения натяжений после изготовления термометра, а также возникших от хранения, следует термометр отжечь, примерно, в течение одного часа при температуре, высшей, чем та, при которой он будет употребляться. При этом оказывается, что процесс отжига менее влияет на изменение постоянных термометра, изготовленного из чистой платины и из проволоки толстой, и более заметно влияет на постоянные термометра из тонкой проволоки и нечистой платины. Что касается химического воздействия материала поддержек, то совершенно избавиться от него ни при какой конструкции термометра невозможно. Вообще следует заметить, что при употреблении платинового термометра для измерения температур высших, чем $+500^\circ\text{C}$, постоянные термометра претерпевают небольшие медленные изменения и для точных работ необходимо время от времени его снова градуировать.

Глава II. Температурные реперы, служащие для градуировки.

Из трех постоянных точек температурной шкалы, необходимых для градуировки платинового термометра, предназначенного для измерения высоких температур, две точки, именно — температура таяния льда и температура кипения воды при определенном давлении — получаются очень легко при помощи общеизвестных приборов Гей-Люссака. Третья постоянная точка может быть осуществлена различным образом; это может быть, например, температура затвердевания или кипения какого-либо чистого металла или определенного химического соединения, лишь бы эта температура была возможно точнее определена помощью водородного термометра (или иного) в градусах водородной шкалы температур. Наиболее просто получить температуры затвердевания, однако, для точных работ следует отдать предпочтение температуре кипения, как более постоянной и воспроизводимой с большой надежностью и точностью. Всеобщее применение для градуировки точных термометров получила температура кипения чистой серы, изученная очень большим числом исследователей. В таблице I уже было приведено одно из значений этой постоянной, применяемой Ch. Ed. Guillaume'ом в Bureau International des Poids et Mesures; в таблице II собраны несколько значений температуры кипения серы согласно наблюдениям ряда физиков. Отбрасывая более ранние неточные наблюдения, можно заметить, что температура кипения чистой серы при давлении 760 мм ртутного столба

лежит между $+444,7^{\circ}\text{C}$ и $+444,5^{\circ}\text{C}$ водородного термометра. Такой сравнительно большой интервал $0,2^{\circ}$ объясняется тем обстоятельством, что абсолютная точность газового термометра при 445°C всего только $\pm 0,1$ градуса, между тем, как точность воспроизводимости температуры кипения серы гораздо выше, порядка $0,02-0,03$ градуса. В Америке склонны принять за температуру кипения серы при нормальном давлении большую цифру $+444,70^{\circ}\text{C}$, тогда как в Европе принимаются: в Англии — температура $+444,5^{\circ}\text{C}$, в Германии $+444,5^{\circ}\text{C}$ и во Франции $+444,5^{\circ}\text{C}$.

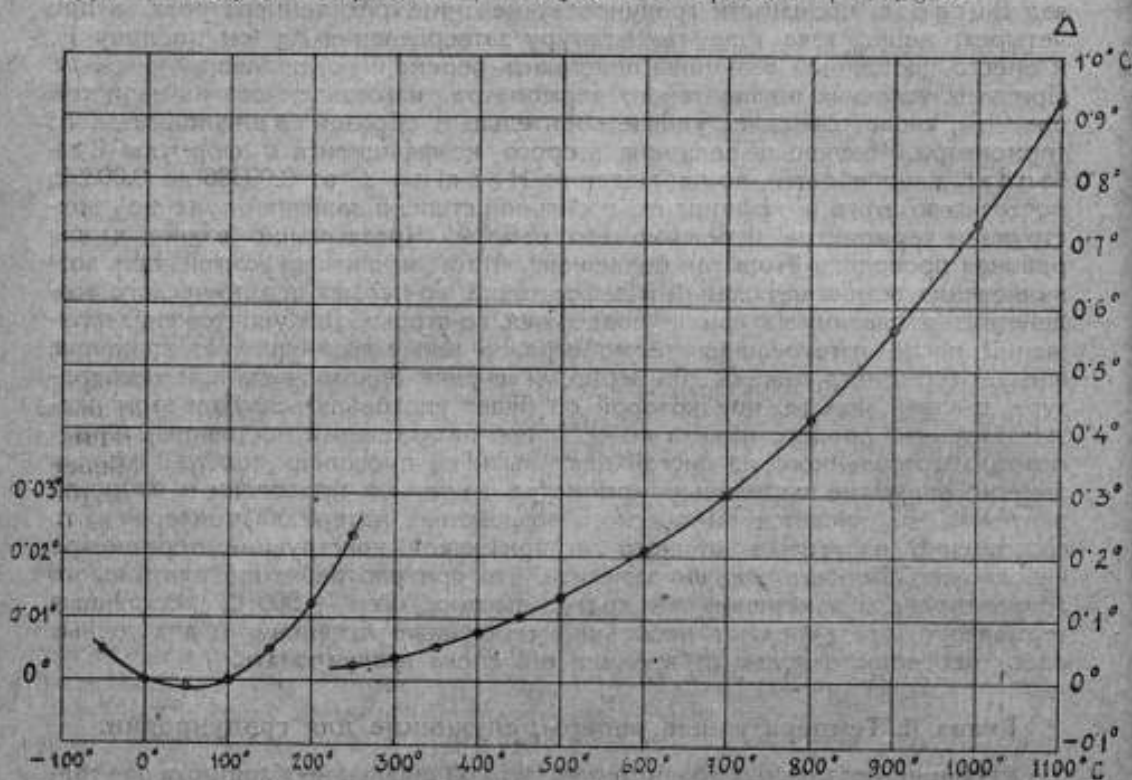


Рис. 1. Ближайшие допущенной погрешности в определении температуры кипения серы на результаты измерений платиновым термометром.

Неопределенность в установлении температуры третьей точки при градуировке платинового термометра имеет большое влияние на точность измерения высоких температур, близких к $+1000^{\circ}\text{C}$.

Кривая рис. 1 показывает, как влияет допущенная в температуре кипения серы погрешность в $0,1^{\circ}$ на погрешность измерения платиновым термометром в различных областях температур; из рис. 1 видно, что при $+1000^{\circ}\text{C}$ эта погрешность возрастет уже до $0,73^{\circ}$ и при расхождении в $0,2^{\circ}$ в определении температуры кипения серы, это дает почти $1,5^{\circ}$ возможной погрешности при $+1000^{\circ}\text{C}$. В виду невозможности решить вопрос об истинном значении температуры кипения серы с желаемой степенью точности непосредственным измерением, повидимому, необходимо прийти к некоторому международному соглашению относительно однообразной температуры кипения серы.

Влияние внешнего давления на температуру кипения выражается эмпирическими формулами, приведенными в таблице II.

Таблица II.

Наблюдатели.	Время наблюдения.	Газовый термометр наполнен:	Температура кипения серы при 760 мм по наблюдению.	Температура кипения серы при 760 мм, пересчитанная на абс. темп.	Зависимость температуры кипения серы от давления.
Caillendar и Griffiths	1890 год	Воздухом	444,63	444,91	—
Charpuis и Harker	1892	N ₂	70	80	—
Емμοφοpoulos	1905	Воздухом	55	83	—
Holborn и Henning	1911	He, H ₂	51	51	$t = t_{760} + 0,0912 (p - 760) - 0,000042 (p - 760)^2$
"	1911	N ₂	43	59	$+ 0,0910 (p - 760) - 0,000043 (p - 760)^2$
Deu и Sosman	1912	N ₂	45	62	—
Dickinson и Müller	1912	—	41	—	$+ 0,0910 (p - 760) - 0,000040 (p - 760)^2$
Charpuis	1914	N ₂	49	63	—
Quillaume	—	—	—	58	$+ 0,090 (p - 760)$
Chree	—	—	—	—	$+ 0,090 (p - 760) + 0,0002 (p - 760)^2$
Harker и Sexton	—	—	—	—	$+ 0,0904 (p - 760) - 0,0000510 (p - 760)^2$
Henning	—	—	—	50	$t + 273,1 = \frac{t_{760} + 273,1}{1 - 0,2219 \log \frac{p}{760}}$
Принято:	—	—	—	—	—
P. T. Reichsanstalt	—	—	—	55	$t = t_{760} + 0,0908 (p - 760) - 0,000047 (p - 760)^2$
Wardner и Burgess (Bureau of Standards)	—	—	—	70	—

Кипячение серы производится обычно в приборе, подобном прибору Mayer'a для определения плотности паров.

Для защиты термометра от лучеиспускания по направлению к более холодным стенкам трубки, Callendar и Griffiths в 1891 году предложили окружить рабочий конец термометра особым защитным экраном, имеющим вид конуса. Собственно, нужно было бы внутреннюю поверхность этого конуса сделать сильно поглощающей, черной, например, покрыв платиновой чернью; наружную же, наоборот, хорошо отражающей—блестящей; оболочка самого термометра также должна быть хорошо отражающей. В этом случае температура защитного конуса, как не излучающего во внешнее пространство, будет мало отличаться от температуры среды, т. е. паров серы, а, следовательно, и температура внутри конуса и термометра тоже будет одинакова с температурой паров. При такой защите удается получать сравнимые результаты с различными термометрами: расхождение не превышает 2—3 сотых долей градуса, хотя, без сомнения, полного равновесия излучаемости не получается. Без защитного экрана температура термометра на $1,3^{\circ}$ — $1,5^{\circ}$ ниже, чем истинная температура паров серы. Если термометр не в стеклянной и не в кварцевой оболочке, прозрачной для лучей, а, напр., в фарфоровой непрозрачной, то чернение внутренней поверхности конуса можно не делать, оставив ее металлической и изготовив конус из алюминия, на который пары серы химически не действуют. Термометр в прозрачной оболочке с алюминиевым конусом дает показания приблизительно на $0,2^{\circ}$ ниже. Кроме этого главного назначения, конус защищает еще термометр от стекающей конденсированной серы, имеющей более низкую температуру. Для этой цели еще лучше поместить сверху второй маленький конус.

Во время производства отчета показания термометра в парах серы замечается показание барометра для введения поправки на давление. Формулы для этой поправки, данные различными исследователями, приведены в таблице II; они дают хотя и различные, но мало отличающиеся друг от друга результаты. Само собою разумеется, что кипячение серы можно вести при любом источнике тепла, напр., подогревая газовой горелкой, приняв меры против возможного перегрева паров; однако, по наблюдениям Burgess'a при этом всегда получается температура пара на $0,03$ — $0,04^{\circ}$ выше, чем при электрическом подогревании. Кроме температуры кипения серы, для градуировки можно применить какие-либо другие постоянные точки шкалы температур из таблицы I; часто применяется, напр., температура кипения нафталина или бензонафтаола.

Глава III. Устройство платинового термометра.

Конструкция платинового термометра, претерпев несколько модификаций, в настоящее время приняла более или менее установившуюся форму. W. Siemens в своих первых термометрах наматывал проволоку на фарфоровый цилиндр, помещенный в железный кожух. Однако, при этом проволока, касаясь по всей длине твердой поддержки, испытывает натяжения и деформации, а, кроме того, и химические воздействия, что влияет на постоянство коэффициентов термометра. Так же неудачна по тем же причинам и конструкция термометра Hegeus'a, где проволока впаяна целиком в кварцевую оболочку. Наилучшей оказалась конструкция Callendar'a, где проволока, с весьма слабым натяжением, намотана на каркас крестообразного сечения из слюдяных пластинок; для удержания проволоки пластинки имеют ряд зубчиков или, что еще лучше, ряд отверстий, в которые продета проволока (рис. 2). Таким устройством термометра достигается минимум соприкосновения платины с поддержкой, что гарантирует неиз-

менность химического состава и отсутствие вредных натяжений. Однако применение слюды в качестве поддержки имеет отрицательную сторону, так как не позволяет применять термометр при температурах выше $+700^{\circ}$, $+800^{\circ}$ С, при которой слюда теряет свою кристаллизационную воду, распадается, химически влияет на платину и, кроме того, начинает приобретать заметную электропроводность. Для защиты платины от механических повреждений и влияния газов измеряемого пространства, термометр заключается в оболочку из огнеупорного материала — фарфора, кварца и т. п. Следует обращать внимание на герметическое закупоривание этой оболочки, во избежание проникновения сырости, уменьшающей сопротивление изоляции слюды, которое должно быть порядка 200 мегомов. Для этой цели термометры, предназначенные для работ высокой степени точности, имеют оболочку запаивную, и воздух из них эвакуирован. Для калориметрических работ, где требуется весьма малая тепловая инерция наряду с высокой степенью точности — до $0,0001^{\circ}$ — Dickinson и Müller (рис. 3) навивают проволоку на плоскую слюдяную пластинку и помещают ее внутри плоской серебряной трубки.

Самое измерение сопротивления проволоки может быть произведено одним из известных способов, т. е. при помощи какого-либо мостика, компенсационным методом, или при помощи дифференциального гальванометра. Соответственно применяемому методу должен быть сконструирован и сам термометр. При компенсационном методе термометр должен иметь, кроме проводов подводящих ток, еще и потенциальные провода; при мостике — должны быть приняты меры для исключения влияния сопротивления подводящих проводов, применяя или компенсационные провода (Callendar и Griffiths), или помещая одну из вершин мостика в самый термометр у начала рабочей проволоки (W. Siemens). Места спая платины с проводниками (медью), во избежание термоэлектрического эффекта, должны поддерживаться при одной и той же температуре, для чего иногда делается водяное охлаждение головки термометра, где помещены спай.

При всех этих измерениях сопротивления неизбежно нужно пропускать ток через термометр, который будет нагревать проволоку до температуры несколько высшей, чем измеряемая. Если этот нагрев будет один

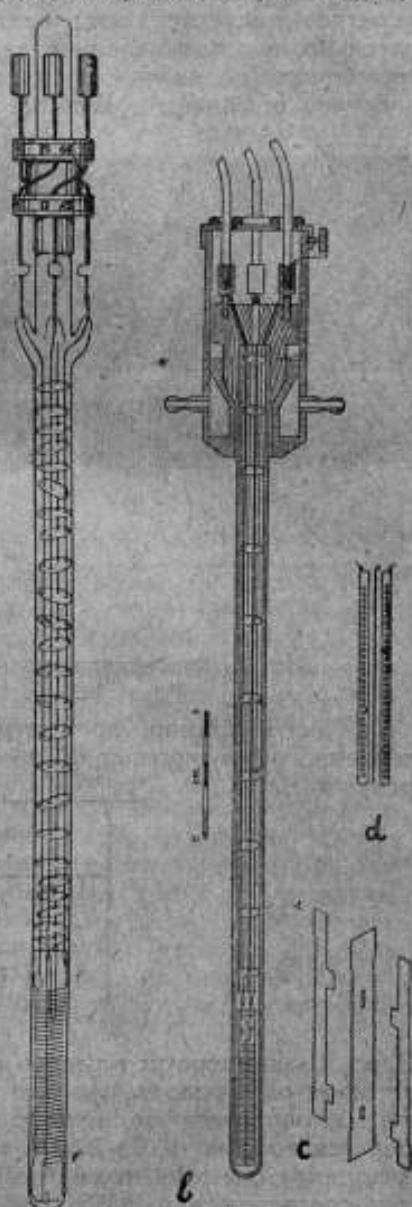


Рис. 2. Устройство платиновых термометров: а — типа Callendar'a, в запаянной оболочке с вакуумом; б — для измерения при помощи компенсационного прибора, с водяным охлаждением головки; в — слюдяная основа типа Callendar'a, д — слюдяная основа Bureau of Standards.

и тот же при всех температурах, то ясно, что при градуировке влияние его автоматически исключается. Callendar показал, что такой постоянный перегрев получится, если поддерживать, при всех температурах, а, следовательно, и сопротивлениях термометра, одну и ту же силу тока через термометр (но не одно и то же количество ватт). Опыты, произведенные в Bureau of Standards, Washington вполне подтвердили это предположение.

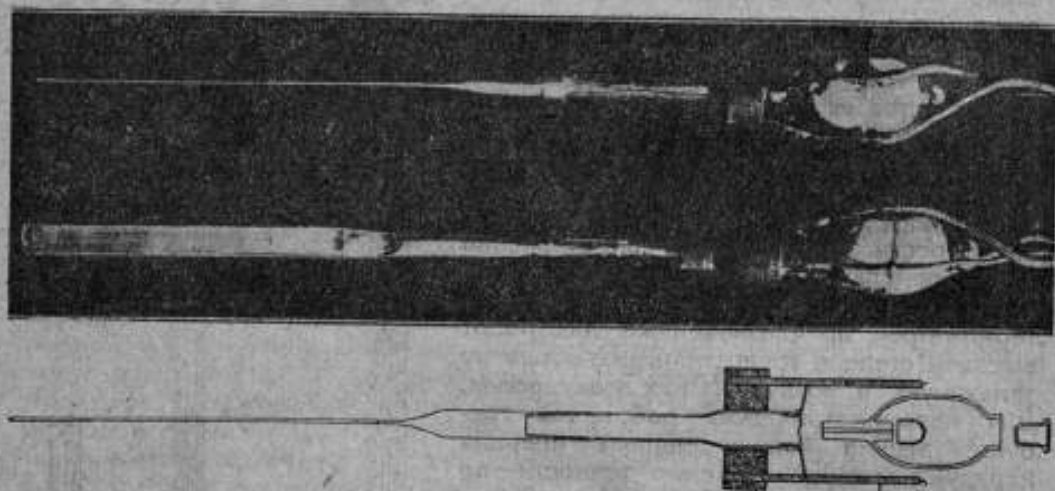


Рис. 3. Калориметрический термометр Dickinson'a Mueller'a.

Так, например, при нагрузке током в 0,1 ампера термометра, изготовленного из проволоки диаметром 0,15 мм, получились следующие результаты:

$t^{\circ}\text{C}$	$\Delta t^{\circ}\text{C}$
0°	1,02°
+100°	1,68°
+444,5°	1,85°

Здесь t° —температура среды и Δt° —превышение температуры проволоки термометра. Ток в 0,1 ампера был взят только для более резкого обнаружения перегрева проволоки: на самом деле сила тока через термометр берется порядка 10,0—20,0 миллиампер, и так как нагрев пропорционален квадрату силы тока, то, напр., при силе тока 10,0 миллиампер перегрев будет соответственно 0,016, 0,017, 0,018°, т.е. влияние перегрева скажется в тысячных долях градуса.

Необходимая степень точности измерения сопротивления зависит от требуемой точности измерения температуры, с одной стороны, и от величины сопротивления термометра при 0°,—с другой. Нулевое сопротивление термометра обыкновенно порядка нескольких омов (не более 10), иначе пришлось бы употребить очень длинную или очень тонкую проволоку, что неудобно из за конструктивных соображений. Если, как это часто делается, термометр имеет при 0° сопротивление порядка 2,6 ома; то на каждые 100 градусов сопротивление будет возрастать приблизительно на 1 ом; для измерения температуры с точностью до 1×10^{-1} градуса необходимо из-

мерять сопротивление термометра с точностью до 1×10^{-4} ома, а при большей степени точности измерения температуры, как, например, при калориметрических измерениях, соответственно повышается и степень точности измерения сопротивления, т.е. до 1×10^{-5} ома или даже до 1×10^{-6} ома. Такие требования не представляют особых затруднений, тем более, что совершенно не важно знать абсолютную величину сопротивления в омах, а лишь относительные изменения сопротивления, для чего достаточно предварительно тщательно прокалибровать катушки сопротивления измерительного мостика, сравнив их друг с другом и вводя соответствующие поправки. Таким образом, платиновый термометр позволяет измерять относительное изменение температуры с весьма большою степенью точности, доходящей в интервале $0-100^\circ\text{C}$ до 1×10^{-4} градуса. При измерениях выше 100°C точность измерения значительно уменьшается благодаря тяжелым условиям теплового равновесия при высоких температурах. P. T. Reichsanstalt дает $0,01$ градуса, как предельную достижимую точность для температур до $+500^\circ\text{C}$ и $0,1-0,2^\circ$ — для температур, близких к $+1000^\circ\text{C}$.

Следует заметить, что точность измерения температур посредством газового термометра приблизительно в десять раз меньше.

Глава IV. Платиновые термометры Главной Палаты мер и весов.

Хранение международной шкалы температур осуществляется в Главной Палате, во-первых, при помощи газового водородного термометра¹⁾, построенного по образцу термометра Международного Бюро, во-вторых, набором жидкостных термометров расширения, сравненных с водородным и имеющих соответственные поправки. Однако, шкала как водородного, так и соответствующих образцовых ртутных термометров охватывает интервал температуры, начиная с точки немного ниже 0° , кончая точкой немного выше 100°C , в общем, около 150° . Задачей термометрической лаборатории было расширить этот интервал как выше 100°C , так и ниже 0° . Для этой цели было намечено приспособление имеющегося газового термометра для измерения низких температур, а для измерения высоких — построить второй специальный; кроме того, воспользоваться платиновым термометром сопротивления в качестве вторичного образцового прибора и, не дожидаясь окончания постройки газового термометра для высоких температур, эталонировать платиновый по температуре кипения серы на основании работ иностранных метрологов, впоследствии же сравнить его непосредственно со своим газовым термометром. Первые платиновые термометры Главной Палаты, изученные И. Д. Гольдбергом, были либо устарелого типа (Heraeus'a H—1073, H—1074, H—5501, в кварцевых оболочках), либо по своей конструкции не пригодны для измерения высоких температур (Wolf'a — W_3 — в стеклянной трубке). В 1912 году от Кембриджского О-ва для изготовления научных приборов в Англии было выписано шесть платиновых термометров компенсационного типа, измерительный мостик и гальванометр. Из шести термометров два, обозначенные CSI2247 и CSI2382, предназначены для точных работ; они имеют нулевое сопротивление порядка 2,57 ома, изготовлены по типу Callendar'a на стальных каркасах, и заключены в фарфоровые трубки диаметром 15 мм и длиной 400 мм (рис. 4). Остальные термометры CSI2206 и CSI2217, с нулевым сопротивлением порядка 45 омов, и CSI2210 и CSI2214 с сопротивлением в 26 омов, того же типа, заключены в фарфоровые трубки соответственно в 1000 и 400 мм длины и 20 мм диаметром и

¹⁾ Временник Главной Палаты, часть 4; 1899 г., стр. 57—80.

предназначены для менее точных технических измерений. Измерительный мостик Callendar'a и Griffiths'a имеет пределы измерения от 0 до 25,6 омов, снабжен гальванометром типа Dyrton'a и Mather'a с коротким периодом колебания в 2,7 секунд и с сопротивлением в 103,2 ома; чувствительность гальванометра 280 мм на 1 микроампер.

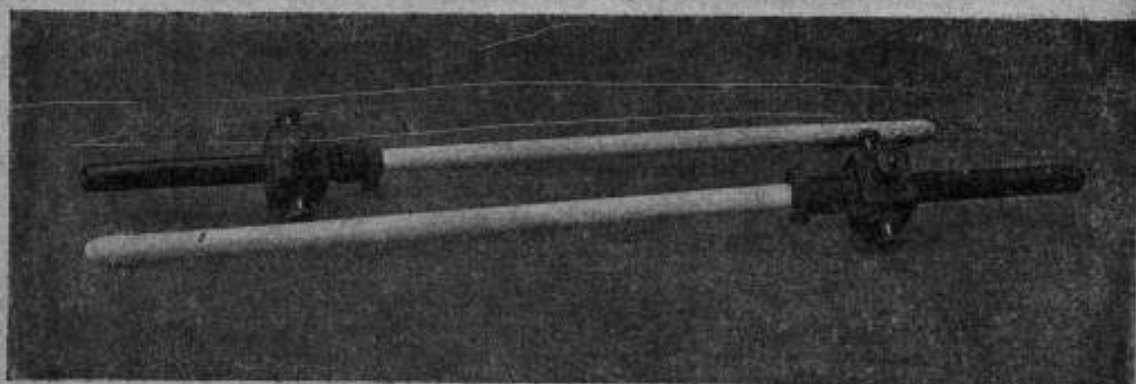


Рис. 4. Платиновые термометры Главной Палаты мер и весов CS12247 и CS12382.

В электрическом отношении мостик Callendar'a и Griffiths'a устроен по типу мостика Carey-Foster'a и имеет схему, изображенную на рис. 5.



Рис. 5. Схема мостика Callendar'a.

Здесь r и r' — два сопротивления, возможно более близкие по величине друг к другу, порядка 10 омов; M — магазин, имеющий следующие подразделения: 5, 10, 20, 40, 80, 160, 320, 640 и 1280 единиц мостика, причем единица мостика равна приблизительно 0,01 ома; AB — реохорд из калиброванной проволоки с общим сопротивлением около 5 единиц; PP — зажимы рабочих проводов термометра, CC — зажимы компенсационных проводов, и r_1 — балластное сопротивление в цепи элемента, около 10 омов.

Пусть сопротивления: платиновой проволоки B термометра — R_1 , подводящих проводов к нему от зажимов мостика до зажимов термометра — R_{Lp} и от зажимов термометра до самой платиновой проволоки — R_p , тогда сопротивление, включенное между зажимами PP равно $R_1 + R_p + R_{Lp}$; сопротивление, включенное между зажимами CC равно сумме сопротивлений подводящих к зажимам компенсационной петли проводов R_{Lc} и самой компенсационной петли R_c , т. е. $R_{Lc} + R_c$. Если равновесие достигнуто в точке F реохорда при сопротивлении магазина r_{1m} , то по уравнению мостика Витстона имеем:

$$\frac{R_{Lc} + R_c + r_{1m} + AF}{R_{Lp} + R_p + R_1 + FR} = \frac{r'}{r''} \dots \dots \dots (5)$$

или, так как $r' = r''$:

$$R_{Lc} + R_c + r_{1m} + AF = R_{Lp} + R_p + R_1 + FB \dots \dots \dots (6)$$

Если теперь сопротивление термометра изменится в R_2 , то новое положение равновесия будет в точке H реохорда при сопротивлении магазина r_{2m} и тогда

$$R_{Lr} + R_c + r_{2m} + AH = R_{Lp} + R_p + R_2 + HB \dots (7)$$

Вычитая (6) и (7), получим, полагая, что сопротивление подводящих и компенсационных проводов не изменилось:

$$r_{2m} - r_{1m} + AH - AF = R_2 - R_1 + HB - FB$$

или, так как:

$$AH - AF = FH \text{ и } HB - FB = -FH,$$

получим для изменения сопротивления термометра:

$$R_2 - R_1 = r_{2m} - r_{1m} + 2 \times FH \dots (8)$$

Деления шкалы реохорда нанесены так, что отчет дает непосредственно удвоенное сопротивление проволоки реохорда, выраженное также в единицах мостика, т.е. в сотых долях ома, и все передвижение движка эквивалентно 11 единицам. Для измерения абсолютной величины сопротивления проволоки термометра нужно определить положение нуля мостика, замыкая на короткое зажимы PP и CC , или, что еще лучше, концы проводов R_{Lp} и R_{Lr} и определяя положение равновесия, напр., в точке O реохорда при r_{0m} магазина; тогда имеем:

$$R_{Lr} + AO + r_{0m} = R_{Lp} + OB \dots (9)$$

Вычитая из (6), получим:

$$R_c + r_{1m} - r_{0m} + AF - AO = R_p + R_1 + FB - OB \dots (10)$$

Заменяя $AF - AO = OB - FB = OF$ и полагая $R_c = R_p$, получим:

$$R_1 = r_{1m} - r_{0m} + 2 \times OF \dots (11)$$

Обыкновенно, в виду малой разницы сопротивлений R_{Lp} и R_{Lr} нулевое равновесие достигается при $r_{0m} = 0$. Условие $R_c = R_p$ выполняется при конструировании термометра.

Катушки сопротивления плеч мостика r' и r'' и магазина изготовлены из манганина с температурным коэффициентом $\alpha = 0,00002$ (по данным Кембриджского О-ва). Оригинальной особенностью в мостике Callendar'a являются ртутные контакты Collins'a, замыкающие на короткое сопротивление катушек R (рис. 6). Опускание в ртуть медных контактов производится вставлением в отверстие G тяжелых цилиндров D .

Проволока реохорда изготовлена из сплава, состоящего главным образом из 32% Pt и 67% Ag, с температурным коэффициентом $\alpha_1 = 0,00025$; парал-

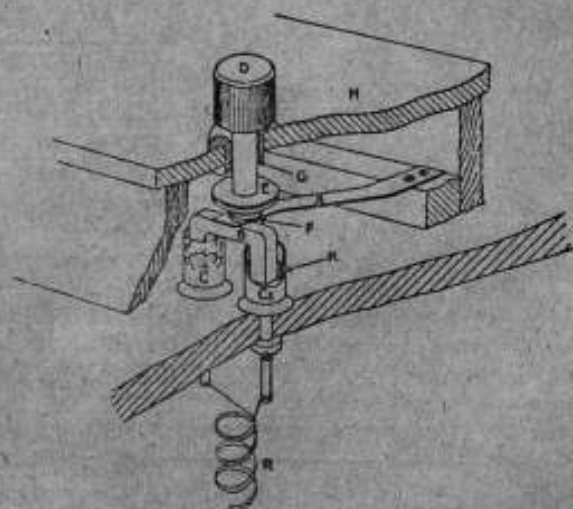


Рис. 6. Ртутные контакты у магазина сопротивления мостика Callendar'a.

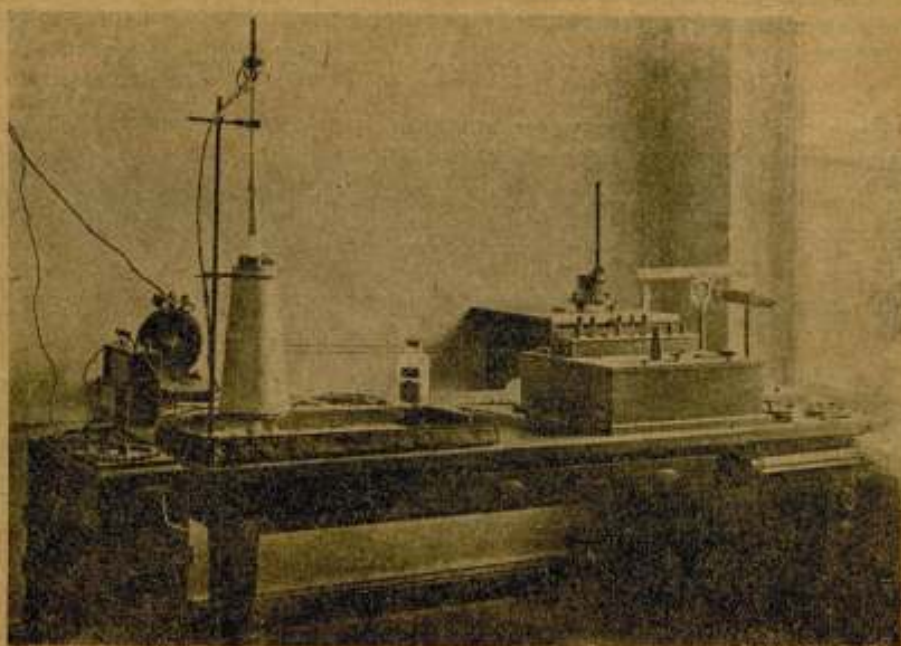


Рис. 7. Общий вид измерительной установки Главной Палаты для работы с платиновыми термометрами.

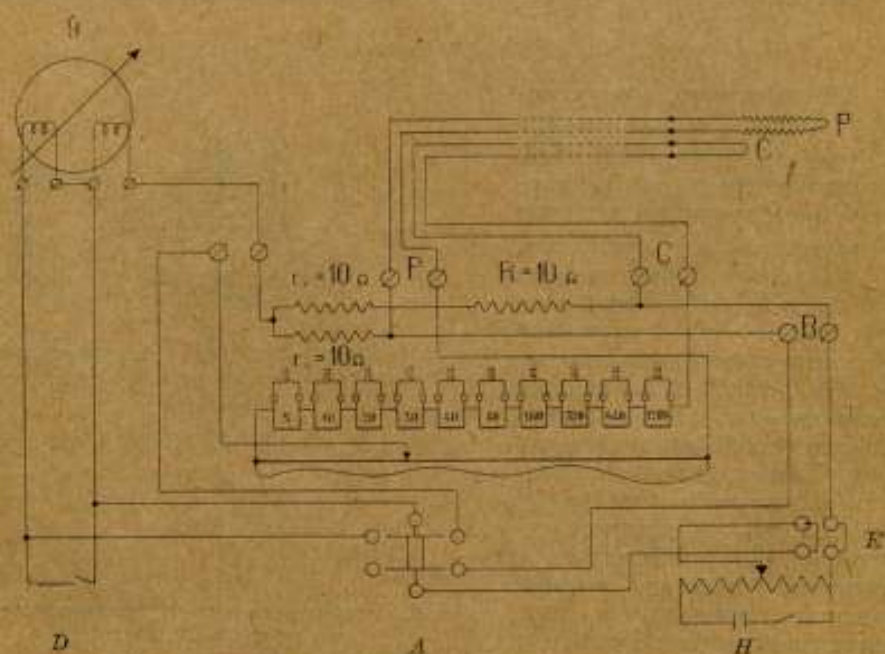


Рис. 8. Схема включения приборов.

дельно ей присоединено некоторое сопротивление из того же материала для точной подгонки величины деления масштаба на единицу мостика. Движок реохорда возможно передвигать грубо при помощи приспособления, одновременно снимающего контакт с проволоки реохорда, и тонко — эксцентриком; передвижение отчитывается нонуисом с точностью до одной тысячной единицы мостика, т.е. до 1×10^{-4} ома. Весь мостик залит сухим трансформаторным маслом, перемешиваемым турбинной мешалкой; температура масла определяется опущенным в него термометром. Рис. 7 дает общий вид установки, а рис. 8 — общую схему включения.

Здесь *P, C, B*, — зажимы мостика для включения термометра с компенсационными проводами, батареи и гальванометра, *A* — двойной переключатель, замыкающий ток батареи и гальванометр на мостик или гальванометр на успокаивающее сопротивление, *D* — выключатель шунтирующего гальванометр сопротивления, необходимого при первоначальном уравнивании, *E* — переключатель направления тока для исключения термоэлектрических эффектов и *H* — реостат-потенциометр для регулировки подаваемого на мостик напряжения и, следовательно, силы тока через термометр.

Глава V. Калибровка мостика.

Прежде, чем приступить к работе с платиновым термометром, мостик был подробно изучен и прокалиброван методом, описанным Callendar¹⁾.

Калибровка мостика была начата осенью 1922 года.

Первоначально была прокалибрована проволока реохорда. Для этого одна из катушек магазина была шунтирована куском манганиновой проволоки так, чтобы общее ее сопротивление сделалось равным одной (приблизительно) единице мостика, т.е. около 0,01 ома. Это можно было сделать, погрузив в контактные чашки со ртутью медные пластинки с припаянной манганиновой проволокой нужного сопротивления, так, однако, чтобы это добавочное сооружение не мешало действию замыкающего приспособления. Таким образом, можно было изменять сопротивление магазина на величину, близкую к единице мостика. Зажимы *CC* при этом замыкались на короткое, между зажимами же *PP* включался реостат, позволяющий очень точно менять его сопротивление: он состоял из куска толстой манганиновой проволоки, поджигаемой в двух местах, шунтированной еще вдобавок обыкновенным штепсельным магазином сопротивления; меняя точки зажима проволоки, можно было установить сопротивление близкое желаемому, и окончательно подогнать, подбирая сопротивление шунтирующего магазина с точностью до тысячных долей единицы мостика. Этим способом можно было получить равновесие в любой, наперед заданной, точке реохорда. Самая калибровка производится в следующем порядке: подгоняя сопротивление реостата, уравниваем мостик с вынутым штепселем шунтированной вышеописанным способом катушки магазина мостика на точке 0 реохорда. Если теперь вставить штепсель шунтированной катушки магазина, то равновесие нарушается, и для восстановления его необходимо будет передвинуть движок на некоторое расстояние, соответствующее изменившемуся сопротивлению магазина, т.е. около 0,01 ома, или, следовательно, близкое одному делению реохорда. Повторяя наблюдения, исходя из положения равновесия в точках 1, 2 и т. д., пройдя, таким образом, весь реохорд, можно определить, скольким делениям соответствует одно и то же постоянное сопротивление шунтирован-

¹⁾ Phil. Trans. 1887, p. 161—239, Proc. Roy. Soc. 1886, p. 231—238.

ной катушки магазина (r_x) в разных местах шкалы реохорда; отсюда не трудно пересчитать сопротивление участков реохорда, лежащих между делениями 0—1, 1—2 и т. д., в величине постоянного сопротивления шунтированной катушки r_x . Наблюдения производились при различных значениях величины r_x — или немного меньше единицы мостика, или немного больше. При этом вся серия наблюдений, охватывающая весь проход по реохорду, обязательно заканчивалась в один прием и контрольными наблюдениями, возвращаясь несколько раз к точке 0 шкалы реохорда, можно было убедиться, что действительно величина сопротивления шунтированной катушки r_x не меняется. Так как шунтирующая манганиновая проволока находится не в масле мостика, а в воздухе, то весьма важно, чтобы температура помещения колебалась бы возможно меньше. В таблице III приведены величины относительного сопротивления участков реохорда, как среднее из трех серий наблюдений. Сопротивления участков обозначены символами: $\rho_{(0-1)}$, $\rho_{(1-2)}$, ... и т. д., причем условно сопротивление $\rho_{(0-1)}$ принято равным единице (второй столбец). После этого сопротивление проволоки реохорда было сравнено способом, вполне аналогичными с описанным, с сопротивлениями катушек магазина r_5 и r_{10} ; при этом величина сопротивления r_{10} при 0°C была условно приравнена 10.000 ϵ , где ϵ — единица мостика, и все остальные сопротивления магазина в дальнейшем сравнивались с величиной этого сопротивления r_{10} , которое, таким образом, было взято за основное. Оказалось, напр., что, при температуре мостика t , сопротивление r_{10} эквивалентно сопротивлению проволоки реохорда от 0 до $9+m$ делений шкалы. Принимая во внимание различные температурные коэффициенты манганина и материала проволоки реохорда, можно написать:

$$r_{10}^0 (1 + \alpha t) = 10.000 \epsilon (1 + \alpha t) = [\rho_{(0-1)}^0 + \rho_{(1-2)}^0 + \dots + m \rho_{(9-10)}^0] (1 + \alpha t). \quad (12)$$

где $\rho_{(0-1)}^0$, $\rho_{(1-2)}^0$, ... сопротивления участков проволоки реохорда при 0°C и m — доля участка (9—10) в общем сопротивлении. При помощи соотношений для величин сопротивлений интервалов таблицы III можно выразить их в условной единице ϵ . Наблюдения производились несколько раз при различных температурах мостика. В третьем столбце таблицы III приведены величины сопротивления участков $\rho_{(0-1)}^t$, $\rho_{(1-2)}^t$ и т. д. при 0°C, выраженные в „ ϵ “, полученные как средние из нескольких наблюдений. После этого были определены поправки катушек сопротивления магазина следующим способом. Устанавливается равновесие, помощью изменения сопротивления реостата, около нулевого деления реохорда при вынутом одном только штепселе r_{20} магазина; когда равновесие достигнуто, штепсель r_{20} вставляется, а вынимается штепсель r_{10} . Для того, чтобы получить снова равновесие, придется передвинуть движок на некоторый интервал, напр. ρ_t^{II} ; можно написать, что $r_{20t} = \rho_t^{\text{II}} + r_{10t}$ или $r_{20t} - r_{10t} = \rho_t^{\text{II}}$. Устанавливая равновесие снова у нулевого деления при вынутом штепселе r_{40} и замещая его потом сопротивлениями $r_{20} + r_{10}$ и передвиганием движка, имеем: $r_{40t} = r_{20t} + r_{10t} + \rho_t^{\text{III}}$ или $r_{40t} - (r_{20t} + r_{10t}) = \rho_t^{\text{III}}$, где значок t указывает, что сравнение производилось при температуре t °C. Продолжая таким образом далее, будем иметь ряд уравнений:

$$\left. \begin{aligned} r_{20t} - r_{10t} &= \rho_t^{\text{II}} \\ r_{40t} - (r_{20t} + r_{10t}) &= \rho_t^{\text{III}} \\ r_{80t} - (r_{40t} + r_{20t} + r_{10t}) &= \rho_t^{\text{IV}} \\ \dots & \dots \dots \dots \\ r_{640t} - (r_{320t} + r_{160t} + r_{80t} + r_{40t} + r_{20t} + r_{10t}) &= \rho_t^{\text{VII}} \\ r_{1280t} - (r_{640t} + r_{320t} + r_{160t} + r_{80t} + r_{40t} + r_{20t} + r_{10t}) &= \rho_t^{\text{VIII}} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (13)$$

Вычитая попарно одно уравнение из другого и приняв во внимание, что из непосредственного сравнения сопротивления r_{10} с реохордом следует: $r_{10t} = \rho_t^I$, получим:

$$\left. \begin{aligned} r_{20t} - 2 r_{10t} &= \rho_t^{II} - \rho_t^I \\ r_{40t} - 2 r_{20t} &= \rho_t^{III} - \rho_t^{II} \\ \dots & \dots \\ r_{80t} - 2 r_{40t} &= \rho_t^{VII} - \rho_t^{VI} \\ r_{120t} - 2 r_{60t} &= \rho_t^{VIII} - \rho_t^{VII} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (14)$$

или, выражая через r_{10t} :

$$\left. \begin{aligned} r_{20t} &= 2 r_{10t} + \rho_t^{II} - \rho_t^I \\ r_{40t} &= 4 r_{10t} + 2(\rho_t^{II} - \rho_t^I) + (\rho_t^{III} - \rho_t^{II}) \\ r_{60t} &= 6 r_{10t} + 4(\rho_t^{II} - \rho_t^I) + 2(\rho_t^{III} - \rho_t^{II}) + (\rho_t^{IV} - \rho_t^{III}) \\ \dots & \dots \end{aligned} \right\} (15)$$

и т. д.

Величины $\rho_t^I, \rho_t^{II}, \rho_t^{III}, \dots$ мало отличаются друг от друга и поэтому ошибка в калибровке проволоки реохорда оказывает совершенно ничтожное влияние на результат калибровки магазина. Приняв во внимание температуру, при которой производилось сравнение, и различные коэффициенты магазина и материалы реохорда, предыдущие равенства могут быть написаны таким образом:

$$r_{0,20}(1 + \alpha t) = 2 r_{0,10}(1 + \alpha t) + (\rho_0^{II} - \rho_0^I)(1 + \alpha_1 t) \dots \dots \dots (16)$$

$$r_{0,40}(1 + \alpha t) = 4 r_{0,10}(1 + \alpha t) + 2(\rho_0^{II} - \rho_0^I)(1 + \alpha_1 t) + (\rho_0^{III} - \rho_0^{II})(1 + \alpha_2 t)$$

и т. д., откуда:

$$r_{0,20} = 2 r_{0,10} + (\rho_0^{II} - \rho_0^I) \frac{1 + \alpha_1 t}{1 + \alpha t} \dots \dots \dots (17)$$

и т. д.

Температурная поправка, вообще говоря, будет незначительна и только при значительных погрешностях величины сопротивления, что наблюдается в последних больших катушках, влияет несколько на результат. Таким образом, возможно вычислить величину сопротивления каждой катушки магазина при 0°C в единицах мостика. Катушка r_b сравнивалась непосредственно с проволокой реохорда. Результаты, полученные как среднее из трех произведенных калибровок, приведены в таблице IV, второй столбец которой дает значения сопротивления катушек магазина при 0°C в условных единицах мостика.

Для работ с платиновым термометром совершенно не важно, в каких единицах измеряется сопротивление; однако, для того, чтобы мостиком можно было пользоваться и для измерения в омах, было определено значение единицы мостика в омах. Для этого была взята манганиновая копия международного ома М 4044 эталонной электрической лаборатории и ее сопротивление измерено в единицах мостика.

Сопротивление копии $(M4044)_{18^\circ} = 1,000011$ международного ома¹⁾, причем температурный коэффициент выражается формулой:

$$(M4044)_t = (M4044)_{18^\circ} + [19,4(t - 18) - 0,47(t - 18)^2] \times 10^{-6}.$$

Потенциальными зажимами, при помощи толстых медных проводов, копия М4044 была включена в зажимы *PP* мостика, зажимы же *CC* были

¹⁾ Временник Главной Палаты, в. 12. 1918 г., стр. 1—208.

Таблица IV.
Сопротивления магазина мостика.

Обозначение сопротивления магазина	Величина сопротивления в единицах мостика "е" при 0°C	Величина сопротивления в сотых долях ома при 0°C	Обозначение сопротивления магазина	Величина сопротивления в единицах мостика "е" при 0°C	Величина сопротивления в сотых долях ома при 0°C
r_5	4,996	4,990	r_{100}	160,192	160,014
r_{10}	10,000	9,989	r_{200}	320,518	320,182
r_{20}	20,026	20,004	r_{400}	641,204	640,493
r_{40}	40,068	40,024	r_{1000}	1284,108	1282,678
r_{80}	80,109	80,020			

Глава VI. Эталонирование платиновых термометров.

После окончания калибровки мостика можно было приступить к эталонированию самих термометров; в первую очередь были проэталонированы термометры № CSI2247 и № CSI2382, как имеющие такие сопротивления, которые, до температуры в 1100°C, могли быть измерены мостиком непосредственно, тогда как остальные четыре термометра потребовали устройства добавочного магазина для расширения пределов измерения. Этот магазин, спроектированный по типу магазина Callendar'a с ртутными контактами на 25, 50, 100 и 200 омов, в настоящее время заканчивается изготовлением. Для термометров № CSI2247 и № CSI2382 сертификат Кембриджского Общества дает следующие значения сопротивления:

$$\text{№ CSI2247: } R'_0 = 2,571_9 \text{ ома; } R'_{100} = 3,571_9 \text{ ома}$$

$$\text{№ CSI2382: } R'_0 = 2,573_9 \text{ " } R'_{100} = 3,573_9 \text{ "}$$

Сопротивления этих же термометров, измеренные мостиком в Палате оказались равными:

$$R_{0,2247} = 2,571_9 \text{ ома } R_{0,2382} = 2,573_9 \text{ ома.}$$

Так как совпадение достаточно удовлетворительное, то отсюда можно было заключить, что термометры находятся в исправности. Первая операция, произведенная над термометрами, заключалась в отжиге при высокой температуре для уничтожения влияния натяжений. Отжиг был произведен в электрической платиновой печи; температура измерялась при помощи самого термометра, взяв, в первом приближении, постоянные R_0 и R_{100} из сертификата и приняв величину коэффициента $\delta = 1,50$. Термометр CSI 2247 был нагрет до $t = +1096^\circ\text{C}$, термометр CSI2382—до $t = +1092^\circ\text{C}$; эти температуры, после достижения, поддерживались в течении получаса, после чего ток печи выключался и термометр вместе с печью медленно охлаждался. Отожженные термометры затем эталонировались по трем температурам. При этом необходимо, как уже было упомянуто, поддерживать ток через термометр одной и той же величины при всех температурах, независимо от изменения сопротивления ветвей мостика, т. е., другими словами, нужно было соответственно измеряемой температуре изменять подаваемое на зажимы мостика напряжение. Обозначая ток через термометр символом i_r , найдем для положения равновесия ($i_g = 0$) ток через ветви мостика r и r' , обозначенный через i_r :

$$i_r = \frac{R_{2r} + R_{2r'} + R_p + R_c + R + r_m + 2AB}{r + r'} \cdot i_g \dots \dots (18)$$

Пренебрегая малыми по сравнению с R и r_m сопротивлениями R_{Lp} , R_{Lc} , R_p , R_c и r_{AB} (в сумме не более 0,2 ома) и подставляя $r = r' = 10$ омам и $R = r_m$, получим:

$$i_r = \frac{2R}{20} \cdot i_t = \frac{R}{10} \cdot i_t$$

и ток в мостике:

$$i = i_r + i_t = i_t \left(1 + \frac{R}{10}\right) \dots \dots \dots (19)$$

Отсюда необходимая разность потенциалов на зажимах мостика:

$$V = i_r(r' + r'') + i \cdot r_0 = i_t(3R + 10) \text{ вольт} \dots \dots \dots (20)$$

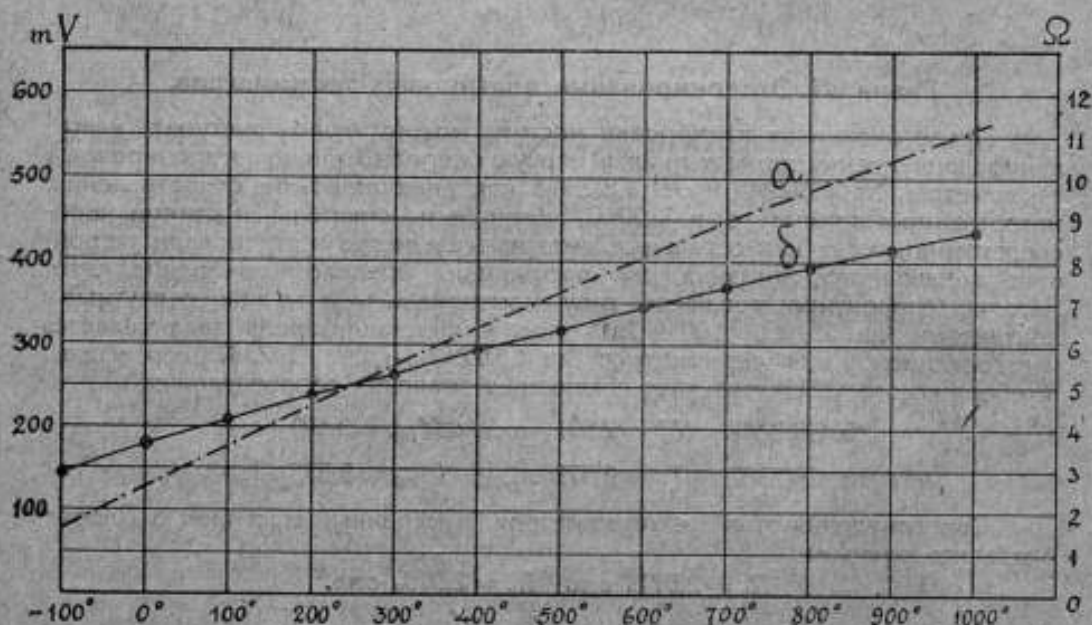


Рис. 9. а — изменение сопротивления платиновых термометров CSI 2247 и CSI 2382 с температурой; б — напряжение на зажимах мостика в милливольтх при токе через термометр в 10 миллиампер.

Подставляя сюда вычисленные при различных температурах сопротивления термометра R и задаваясь током через термометр i_t , получим необходимое напряжение на зажимах мостика, как функцию измеряемой температуры. Кривая б (рис. 9) дает величины напряжения в милливольтх для тока через термометр $i_t = 10$ миллиамперам. Регулировка напряжения производится потенциометром; источник тока — один железо-никелевый аккумулятор. Опыт показал, что для хорошего отчета по мосту, с гальванометром Dutton-Mather'a указанной чувствительности, необходимо было держать ток через термометр по крайней мере 30 миллиампер, и все дальнейшие измерения производились при этой силе тока. Необходимое напряжение при 30 миллиамперах можно найти по кривой б рис. 9. Кривая а (рис. 9) дает приблизительно величину сопротивления термометров 2247 и 2382 при различных температурах.

Определение сопротивления термометров при температуре кипения серы было произведено 19 сентября 1923 г. Сера кипятилась в приборе, изображенном в разрезе на рис. 10, построенном в термометрической лабо-

ратории Главной Палаты по образцу, употребляемому в Bureau of Standards. Сера кипит в стеклянной трубке диаметром 45 мм, высотой около 400 мм; подогревание производится электрическим током, для чего нижний запаянный конец трубки, на высоте около 60 мм обвит по винтовой линии полоской платиновой фольги сопротивлением около 15 омов, прикрепленной к трубке жидким стеклом. Уровень жидкой серы должен быть выше конца нагревательной проволоки во избежание вредного перегрева паров серы; достаточно было взять высоту столба жидкой серы 85 мм, употребив на это 182 г химически чистой кристаллической серы от Kahlbaum'a. Трубка хорошо защищена от потери тепла толстым кожухом из асбеста, нижний же конец трубки поддерживается тиглем, наполненным рыхлым асбестом; в случае, если трубка лопнет, что бывает довольно часто (обыкновенно уже при втором нагревании), жидкая сера выливается в тигель. При указанном сопротивлении нагревательной обмотки достаточно было пропустить ток силой около 3,5 ампера, т.е. мощности около 160 ватт, чтобы в течении получаса довести серу до кипения и затем поддерживать его. Изучаемый термометр опускается сверху в трубку так, чтобы нижний конец термометра был в области насыщенных паров, для чего достаточно поддерживать расстояние между уровнем жидкой серы и концом термометра около 50 мм; признаком нахождения термометра (собственно, его проволоки сопротивления) в этой области служит почти неизменяющееся показание термометра (разница не более 0,02—0,03 градуса) при передвижении его вверх и вниз на 10—20 мм. При приближении конца термометра к поверхности кипящей серы температура заметно повышается, а при погружении в серу это повышение достигает 5,4 градуса.

Для защиты термометра от лучеиспускания к более холодным стенкам трубки, был применен защитный экран из алюминия; на рис. 11 изображено все защитное устройство, примененное в термометрической лаборатории по образцу, сконструированному Butgess'ом в Bureau of Standards. Снизу этих экранов подвешен небольшой диск из алюминия, защищающий термометр от попадания брызг кипящей серы.

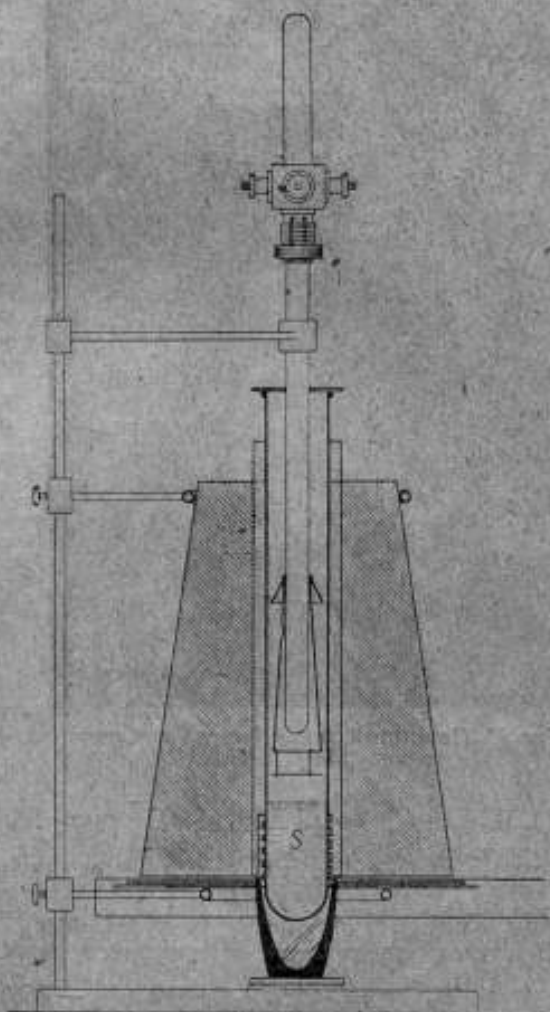


Рис. 10. Прибор для кипячения серы.

На рис. 7 видно расположение приборов при определении сопротивления в парах серы. Термометр, снабженный защитным конусом опускался

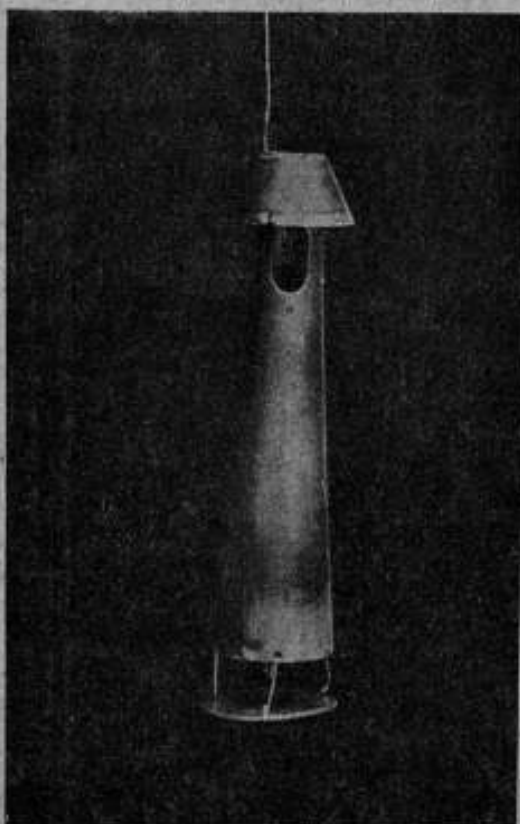


Рис. 11. Защитный экран (конус) для термометров CSI2247 и CSI2382.

в цилиндр с парами серы на необходимую глубину и сила нагревающего кипятильника тока регулировалась таким образом, чтобы граница, с которой начинается конденсация паров серы, находилась на самом верхнем, выступающем из оболочки, конце цилиндра, прикрытого кружком из асбеста, сквозь который проходит трубка термометра. Следя за изменением сопротивления термометра, можно, наконец, заметить, что сопротивление перестает изменяться, т.-е. что термометр принял температуру паров серы; это наступает приблизительно через 40—50 минут после начала кипения. Чтобы убедиться, находится ли термометр в области с равномерно-распределенной температурой, измерение производилось при поднимании и опускании термометра приблизительно на 2 см от его среднего положения и констатировалась неизменность величины сопротивления.

Одновременно производился отчет по нормальному барометру II термометрической лаборатории. Результаты наблюдений получились следующие:

$$\begin{array}{l} \text{CSI2382} \\ \text{CSI2247} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} R_s^{2382} = 679,68_4 \times 10^{-2} \text{ ома} \\ R_s^{2247} = 679,90_0 \times 10^{-2} \text{ " } \end{array} \right. \left. \begin{array}{l} H'_s = 766,744 \text{ мм} \\ H''_s = 766,844 \text{ " } \end{array} \right\} \begin{array}{l} t'_s = 445,011 \text{ C} \\ t''_s = 445,012 \text{ C} \end{array} \quad (21)$$

Температура кипения серы при 760 мм принята равной $445,05_0$ C, а для ее зависимости от внешнего давления формула:

$$t_s = 444,5_0 + 0,0912 (H_s - 760) - 0,000042 (H_s - 760)^2.$$

Произведенное после этого определение сопротивления при 0° в приборе для определения точки нуля термометрической лаборатории дало следующие результаты (24 сентября 1923 г.).

$$\begin{array}{l} \text{CSI2382} \\ \text{CSI2247} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} R_0^{2382} = 257,11_8 \times 10^{-2} \text{ ома} \\ R_0^{2247} = 257,00_0 \times 10^{-2} \text{ " } \end{array} \right\} \dots \dots \dots (22)$$

Термометры были погружены на глубину 12 см в смесь тертого льда и дистиллированной воды, с удаленными пузырьками воздуха; тепловое равновесие наступает приблизительно через 20—25 минут. Наконец, третья точка эталонирования — температура насыщенных паров воды, была получена в приборе типа Gay-Lussac'a термометрической лаборатории.

Наблюдения, произведенные 26 сентября 1923 г., дали следующие результаты:

$$\begin{array}{l} \text{CSI2382} \\ \text{CSI2247} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} R_{H_2O}^{2382} = 357,41_3 \times 10^{-2} \text{ ома} \\ R_{H_2O}^{2247} = 357,38_0 \times 10^{-2} \text{ " } \end{array} \right. \left. \begin{array}{l} H'_{H_2O} = 765,83 \text{ мм} \\ H'_{H_2O} = 765,68 \text{ " } \end{array} \right. \left. \begin{array}{l} t'_{H_2O} = 100,0215 \text{ C} \\ t'_{H_2O} = 100,0210 \text{ C} \end{array} \right\} \quad (23)$$

Из (22) и (23), пренебрегая весьма малым влиянием члена второй степени формулы Callendar'a при температурах, близких 100° C, получим для величины основного интервала Int термометра № CSI2382:

$$\text{Int}^{2382} = \frac{R_{H_2O} - R_0}{t_{H_2O} - t_0} = \frac{357,41_3 - 257,11_0}{100,215} = 1,000818. \quad (24)$$

и для № CSI2247:

$$\text{Int}^{2247} = \frac{357,38_0 - 257,00_0}{100,210} = 1,001596. \quad (24)$$

Отсюда, сопротивление при 100,00° C термометра CSI2382:

$$R_{100}^{2382} = R_0^{2382} + 100 \cdot \text{Int}^{2382} = 257,11_0 + 100,08_9 = 357,19_9 \times 10^{-2} \text{ ома}$$

и термометра CSI 2247:

$$R_{100}^{2247} = 257,00_0 + 100,16_0 = 357,16_0 \times 10^{-2} \text{ ома} \quad (25)$$

Величина коэффициента δ определится тогда из (21) и (3) следующим образом:

$$\delta = \frac{t_s - t_{ps}}{\left(\frac{t_s}{100} - 1\right) \frac{t_s}{100}}$$

где t_s — температура паров серы по водородному термометру, и t_{ps} — „платиновая температура“, равная, для термометра № CSI2382:

$$t'_{ps} = \frac{679,68_4 - 257,11_0}{1,000818} = 422,22_0$$

и для термометра № CSI2247:

$$t'_{ps} = \frac{679,90_0 - 257,00_0}{1,001596} = 422,21_6$$

тогда:

$$\left. \begin{array}{l} \delta_{2382} = \frac{445,11 - 422,22_0}{4,4511 \cdot 3,4511} = 1,490_1 \\ \delta_{2247} = \frac{445,12 - 422,21_6}{4,4512 \cdot 3,4512} = 1,490_0 \end{array} \right\} \quad (26)$$

В следующей таблице V собраны постоянные термометров № CSI2247 и № CSI2382 для конца 1923 года.

Таблица V.

№	R_0 в омах	R_{100} в омах	Int	δ
CSI 2382	$257,11_0 \times 10^{-2}$	$357,19_9 \times 10^{-2}$	1,0008 ₉	1,490 ₁
CSI 2247	$257,00_0 \times 10^{-2}$	$357,16_0 \times 10^{-2}$	1,0016 ₀	1,490 ₀

Из величины коэффициента δ видно, что термометры изготовлены из платины высокой чистоты.

Глава VII. Сравнение ртутных термометров с платиновыми.

Следующим весьма важным вопросом было найти подходящий метод для сравнения поверяемого термометра с платиновым, который позволил бы вполне использовать высокую чувствительность этого прибора. Для термопар вполне применим способ сравнения путем помещения их внутри обыкновенной электрической печи так, чтобы спаи были возможно близки друг к другу: этим обеспечивается вполне достаточно равенство их температур, в виду малого размера спаев. Платиновый термометр, имея сравнительно большой объем измеряющей части, измеряет некоторую среднюю температуру, которая может сильно отличаться от температуры отдельных точек, измеряемых при помощи термопар. Для небольшой печи (диаметром 45 мм и длиной нагреваемой части 200 мм) эта разность между средней температурой платинового термометра и помещенного в различных точках его оболочки спаев термопары колебалась от 6 градусов в средней части до 29,4 градуса и более — к концу. Наиболее надежный способ получения области равномерной температуры это — жидкие хорошо перемешиваемые ванны; однако, применение ванн из тяжелых масел, с высокой температурой кипения, возможно лишь при сравнительно низких температурах (до 150—200°С); ванны же из расплавленных солей чрезвычайно неприятны и неудобны в работе и, кроме того, в виду отсутствия светильного газа, имеющаяся такая ванна в термометрической лаборатории не могла быть приведена в действие. А. Н. Георгиевский предложил построить печь по образцу применяющейся в Вашингтонском Bureau of Standards из массивного куска красной меди, с просверленными каналами для сравниваемых термометров, нагреваемого, как обычно, током; большая теплопроводность меди должна выравнять случайные разности температур. Первая печь была построена из меди не вполне чистой (около 5% цинка); цилиндрический кусок этой меди, длиной около 450 мм и диаметром около 75 мм, с семью симметрично расположенными каналами около 7 мм диаметром, был обмотан, по спирали, никелиновой проволокой по боковой и торцовой поверхностям так, чтобы плотность энергии на единицу поверхности была повсюду одинакова; этим имелось в виду обеспечить возможно более равномерную температуру. Все помещается в кожух из железа и в качестве тепловой изоляции свободное пространство засыпается магнезией. Эта печь была предназначена для исследования распределения температуры внутри ее, путем сравнения показания ртутных термометров, помещаемых внутри каналов в различных положениях и на различной глубине. Произведенные А. Н. Георгиевским наблюдения показали, что при благоприятных обстоятельствах можно рассчитывать на 0,1 градуса, как наибольшую возможную разность температур двух сравниваемых термометров. Благодаря содействию А. А. Байкова удалось получить из Москвы с завода Кольчугина два цилиндрических куска из электролитической меди, и из одного из них, диаметром около 100 мм и длиной около 320 мм, была изготовлена вторая печь, специально для работ с платиновыми термометрами. Эта печь имеет только три продольных канала, диаметром 12 и 22 мм, расположенные симметрично по окружности диаметром около 50 мм; нагревательная обмотка сделана из нихромовой проволоки в 1 мм диаметром, в остальном же были соблюдены те же условия, что и в первой печи. Наблюдения с ртутными термометрами дали достижимую равномерность температуры приблизительно такую же, что и в первой печи, т. е. около 0,1 градуса, что для большинства проверок технических термометров высоких температур вполне достаточно. В этой печи В. А. Яковлев в первой половине 1924 года были произведены сравнения с термометром CSl 2382 ряда ртутных термометров и термопар. Из ртутных термометров были сравнены: термометры Niehisa

Таблица VI.
 Поправки для приведения к водородной шкале.

Показание термометра	Т е р м о м е т р							
	Niehls 12588	Niehls 12597	Niehls 12594	Niehls 12590	Niehls 12590	Niehls 12591	Baudin 16494	Baudin 16495
100°С	—	+0,2	—	—	—	—	—	—
150°С	0,0	+0,3	—	—	0,0	—	—	—
200°С	-1,2	-0,7	-0,1	-5,2	-1,1	-0,1	0,0	-2,2
250°С	-2,4	—	-1,2	-5,0	-1,9	-0,8	-2,2	—
300°С	-3,8	—	-2,4	-6,4	-3,6	-2,4	-1,4	-3,8
350°С	-6,8	—	-3,2	—	-6,3	-5,8	—	-6,3
400°С	-9,0	—	—	—	-8,1	-8,1	—	-7,9
Положение нуля	-2,2	+0,2	+0,1	+0,2	-1,7	-2,4	-0,3	-0,7
Спецификация термометра	от -2° до +5° расширение от +100° до +540° 1 дел. = 1°	от -2° до +5° расширение от +100° до +200° 1 дел. = 0,2°	от -2° до +5° расширение от +95° до +100° расширение от +195° до +360° 1 дел. = 0,5°	от -2° до +2° расширение от +98° до +104° расширение от +196° до +304° 1 дел. = 0,2°	от -2° до +10° расширение от +50° до +540° 1 дел. = 1°	от -2° до +3° расширение от +98° до +110° расширение от +190° до +540° 1 дел. = 1°	от -5° до +10° расширение от +95° до +110° расширение от +195° до +340° 1 дел. = 0,5°	от -5° до +10° расширение от +95° до +110° расширение от +195° до +310° расширение от +295° до +470° 1 дел. = 0,5°

№№ 12588, 12597, 12594, 11600, 12590 и 12591 и Baudin'a №№ 16494 и 16495. Таблица VI дает спецификацию термометров и вычисленные на основании наблюдений поправки к водородной шкале.

При этом выступающий столбик принимался во внимание и на него введена поправка; термометры находились в горизонтальном положении при внешнем давлении постоянном и равном нормальному. Поправка на нуль шкалы уже введена. Как видно из этой таблицы, шкала этих термометров, при высоких температурах, сильно отличается от водородной.

Литература.

- Callendar. Platin resistance thermometer. Proc. Roy. Soc. 41, p. 231—238, 1886.
 Callendar. Platin resistance thermometer. Phil. Trans. 178, p. 161—230, 1887.
 Holborn und Wien. Ueber die Messung tiefer Temperatur. Annalen der Phys. 50, p. 213, 1896.
 Le Chatelier. Mesure des températures élevées. Paris, 1900.
 Chappuis and Harker. On a comparison of platin and gas thermometer. Proc. Roy. Soc. 65, p. 377, 1889 Phil. Trans. 104 A p. 57, 1900.
 Dickson. On the reduction to Normal air thermometer of the platin thermometer. Phil. Mag. 45, 1898.
 Waindner & Burgess. Platin resistance thermometer at high temperatures. Bull. Bureau of Standards 6, p. 150, 1900.
 Waindner & Dickinson. Apparatus for platin thermometry, Phys. Rev. p. 19, 1904.
 Tory. Comparison of platin thermometer of different degrees of purity. Phil. Mag. p. 50, 1900.
 Mueller. Wheatstone Bridges for resistance thermometry. Bul. Bureau of Standards 1915, 1916.
 Holborn & Henning. Platin und Gas Thermometer. Annalen der Physik. p. 35, 1911.
 Harker. High temperatures standards of National Physical Laboratory. Phil. Trans. p. 203, 1904.
 Jaeger. Widerstandsthermometer. Z. f. Instrumentenkunde. S. 26, 1906.
 Pyrometer testing and heat measurements. Circular of the Bureau of Standards No. 7, 1910.
 H. Dickinson & E. Mueller. New calorimetric resistance thermometer. Bulletin Bureau of Standards, No. 3, 1907.
 Holborn & Henning. Untersuchungen über Schwefeldampftemperatur. Annalen der Phys. S. 26, 1908.
 T. Sligh. Recent modifications in the construction of platin resistance thermometer. Bulletin Bureau of Standards, 1921.
 Callendar. Sulfur boiling point (S. B. P.) Proc. Roy. Soc., p. 83, 1904.
 Chappuis. Correction of sulphur boiling point. Phil. Mag., p. 3, 1902.
 Henning. Die Grundlagen. Methoden und Ergebnisse der Temperaturmessung. 1915. Braunschweig. Verlag von F. Vieweg & Sohn.
 G. Keimath. Elektrische Temperatur-Messgeräte. 1923. München und Berlin. Verlag von R. Oldenburg.
 Ezer Griffiths. Methods of Measuring Temperature. 1925. Second Edition. London. Ch. Griffin & Co.

ФОРМУЛА ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ТЕРМОМЕТРА.

Г. М. Кондратьев.

Предположим, что термометр, резервуар которого имеет форму цилиндра с полушаровым дном (рис. 1) высотой b и радиусом основания a , нагрет до температуры, близкой к наивысшей точке шкалы, после чего помещен в газообразную или жидкую среду, имеющую постоянную температуру T , находящуюся в состоянии свободной или вынужденной конвекции.

В некоторый момент времени τ_1 мениск жидкости в капилляре находится против точки L_1 шкалы термометра (рис. 2), в другой момент времени, позднейший, τ_2 он — против точки L_2 шкалы.

Значения переменных величин, далее рассматриваемых, соответствующие этим двум состояниям термометра I и II и моментам времени τ_1 и τ_2 , будут сопровождаться значками I и II. Промежуток времени $\tau_2 - \tau_1 = T$.

Полное количество тепла, потерянное резервуаром термометра за время от τ_1 до τ_2 , обозначим через Q .

Вычислим Q двумя способами: во-1-ых, рассмотрев охлаждение всех элементов объема внутри резервуара; во-2-ых, рассмотрев движение тепла сквозь внешнюю поверхность резервуара термометра. Приравняв эти два выражения для Q и применив уравнения аналитической теории тепла, мы получим требуемую формулу.

Введем следующие обозначения.

Температуру в любой точке M внутри резервуара термометра обозначим u ; температуру стенок резервуара, которую примем

равной температуре на границе между жидкостью и внутренней стенкой, пренебрегая толщиной стенок резервуара, обозначим u_1 , теплоемкость термометрической жидкости c , ее плотность ρ , коэффициент ее внутренней теплопроводности κ , элемент объема назовем dv , полный объем резервуара V .

Температура элемента объема dv , масса которого равна ρdv , за промежуток времени $\tau_2 - \tau_1 = T$ понизилась с u^I до u^{II} ; поэтому потерянное им тепло равно:

$$(u^I - u^{II}) \cdot c \cdot \rho \cdot dv.$$

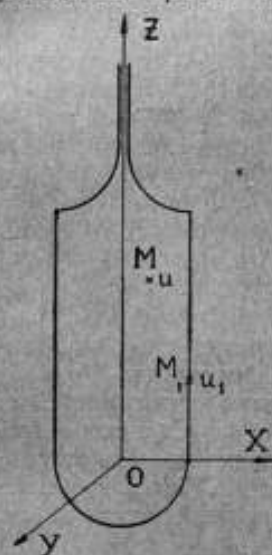


Рис. 1.



Рис. 2.

Количество тепла, потерянное всеми элементами объема V за время T , равно:

$$Q = \int \int \int (u^I - u^{II}) c \rho dv$$

или:

$$Q = c \rho \left[\int \int \int u dv \right]_{\tau = \tau_{II}}^{\tau = \tau_I} = \frac{C}{V} \left[\int \int \int u dv \right]_{\tau = \tau_{II}}^{\tau = \tau_I} \dots \dots (1)$$

Здесь C обозначает водный эквивалент резервуара термометра;

$$C = c \rho V.$$

Все элементы массы резервуара термометра в какой-нибудь данный момент τ имеют различные температуры u в зависимости от их координат; вычислим температуру Θ , соответствующую объему, занимаемому термометрической жидкостью в этот момент времени τ , но при условии равномерной температуры во всех частях объема; нетрудно видеть (см. примечание 1-ое), что:

$$\Theta = \frac{\int \int \int u dv}{V} \dots \dots \dots (2)$$

Температуру Θ можно связать с отчетами по термометру, так как он градуируется при условии, что все его части имеют одну и ту же температуру; если L —отчет по термометру в момент времени τ , а Δ —поправка для этого отчета, то:

$$\Theta = L + \Delta.$$

В частности для моментов времени τ_I и τ_{II} мы будем иметь:

$$\left. \begin{aligned} \Theta_I &= L_I + \Delta_I \\ \Theta_{II} &= L_{II} + \Delta_{II} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3)$$

Из сравнения формул (1) и (2) получается:

$$Q = C (\Theta_I - \Theta_{II}) \dots \dots \dots (4)$$

Температура u в точке M (рис. 1) есть функция времени и 3 координат точки M ; при интегрировании по объему V в формулах (1) и (2) время τ принимается за постоянный параметр; результат интегрирования в формуле (2) есть функция τ , поэтому и Θ —функция τ . Сделаем естественное предположение, что u , кроме времени τ , зависит только от расстояния точки M до оси OZ , которое обозначим буквой r . Тогда вычисление тройного интеграла $\int \int \int u dv$ сведется к простым квадратурам (см. примечание 2-ое), и для Θ получится следующее выражение:

$$\Theta = \frac{2b \int_0^r u r dr + 2\pi \int_0^r u r^2 dr}{V} \dots \dots \dots (5)$$

Для разыскания неизвестной u воспользуемся основным уравнением в частных производных теории теплопроводности; в силу того, что u функция только r и τ , уравнение это будет иметь вид:

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = k \left(\frac{\partial^2 r}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \right) \dots \dots \dots (6)$$

(Здесь мы пренебрегли конвекцией и радиацией внутри резервуара).

Коэффициент температурной проводимости k мы принимаем, как обыкновенно делается в задачах математической теории тепла, независящим от температуры u :

$$k = \frac{\kappa}{S \rho} \dots \dots \dots (7)$$

Введем вместо u новую известную \bar{u} , положив

$$\bar{u} = u - t \dots \dots \dots (8)$$

Функция \bar{u} удовлетворяет тому же уравнению (6) в частных производных. Общий его интеграл, как доказывается в аналитической теории тепла (см. напр., Boussinesq, „Théorie analytique de la chaleur“, t. I, p. 311), в нашем случае будет иметь форму:

$$\bar{u} = \sum_{n=1}^{\infty} A_n J_0(r \lambda_n) e^{-\lambda_n^2 t} \dots \dots \dots (9)$$

Здесь A_n — постоянные коэффициенты, λ_n — постоянные числа, которые получат определенные значения, когда будут поставлены определенные условия на границах; $J_0(x)$ — Бесселева функция 1-го рода нулевого порядка; она разлагается в ряд:

$$J_0(x) = 1 - \left(\frac{x^2}{4!}\right) + \left(\frac{x^4}{64}\right) - \left(\frac{x^6}{9!}\right) + \dots \dots \dots (10)$$

Рассмотрим условия на границах. Здесь имеет место скачок температуры от значения ее u внутри тела в бесконечной близости к поверхности раздела резервуара термометра и окружающей его среды к значению t температуры окружающей тело внешней среды. Сделаем обычное предположение, что тепловой поток сквозь элемент поверхности dS (рис. 3) пропорционален 1-й степени разности $u - t$, т. е.

$$-\kappa \frac{\partial u}{\partial n} = H(u - t).$$

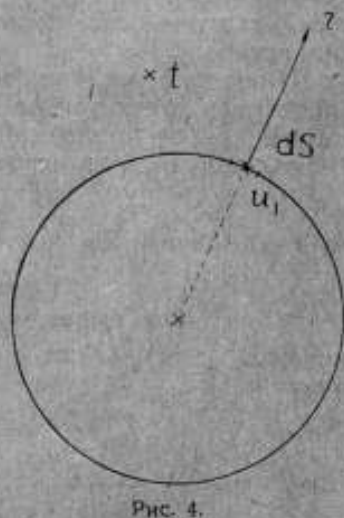
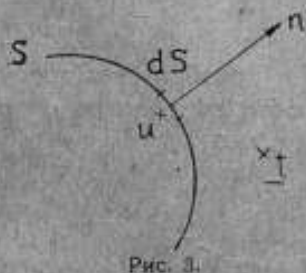
H — коэффициент пропорциональности — „коэффициент внешней теплопроводности“; n — направление внешней нормали. Коэффициентом

H учитывается суммарно обмен тепла тела с окружающей средой посредством лучеиспускания, конвекции и теплопроводности. Предположим, что все элементы поверхности резервуара термометра находятся, с точки зрения теплового обмена с окружающей средой, в совершенно одинаковых условиях, за положительное направление r примем направление внаружу (рис. 4); тогда предыдущее условие напишется для нашего случая в форме:

$$\left. \frac{\partial u}{\partial r} \right|_{r=a} = h(t - u_t),$$

если обозначить: $h = \frac{H}{\kappa} \dots \dots \dots (12)$

$$u_t = u \Big|_{r=a} = \text{функция от } \tau.$$



Условие (II) на границах для u равносильно следующему условию для u :

$$\left(\frac{\partial u}{\partial r} + h \bar{u} \right)_{r=a} = 0, \quad \dots \dots \dots (13)$$

которое должно иметь место во всех точках наружной поверхности.

Чтобы общий интеграл (9) уравнения с частными производными (6) удовлетворил условию (13), следует подчинить этому условию каждое из частных решений, т.е. каждое $\bar{u}_n = A_n J_0(r\lambda_n) (e^{-\lambda_n^2 \tau})$; таким образом, для определения чисел λ_n получится трансцендентное уравнение:

$$h J_0(a\lambda_n) + \lambda_n J_0'(a\lambda_n) = 0.$$

Если ввести Бесселеву функцию 1-го рода $J_1(x)$, пользуясь соотношением $J_0'(x) = -J_1(x)$, то последнее уравнение можно написать в виде более удобном для вычислений:

$$ah \cdot J_0(a\lambda_n) = a\lambda_n J_1(a\lambda_n) \dots \dots \dots (14)$$

Для определения коэффициентов A_n нужно задать начальное состояние охлаждающегося резервуара, т.е. задать u , как функцию r , для момента времени $\tau = 0$; мы на этом не остановимся, так как коэффициенты A_n выпадут из дальнейших рассуждений.

Корни $\lambda_1, \lambda_2, \dots$ уравнения (14) расположены в возрастающем порядке; это — числа положительные; наименьшее из них, т.е. λ_1 , обозначим просто λ .

Предположим, что всеми членами ряда (9), начиная со 2-го, можно пренебречь сравнительно с 1-м членом, соответствующим наименьшему из корней λ_n (см. примечание 3-ье); тогда, воспользовавшись уравнением (8), мы получим для искомой неизвестной u следующее выражение:

$$u = t + A J_0(r\lambda) \cdot e^{-m\tau} \dots \dots \dots (15)$$

если обозначить для краткости:

$$k\lambda^2 = m \dots \dots \dots (16)$$

Подставив выражение для u в формулу (5) и преобразовав переменную r под знаком \int введением $x = r\lambda$, получаем следующую формулу:

$$\Theta = \frac{2b\pi \cdot \frac{1}{\lambda^2} \cdot \int_0^{a\lambda} x J_0(x) dx + 2\pi \cdot \frac{1}{\lambda^2} \cdot \int_0^{a\lambda} x^2 J_0(x) dx}{\Psi} \cdot A e^{-m\tau} + \frac{2b\pi \cdot \frac{a^2}{2} + 2\pi \cdot \frac{a^3}{3}}{\Psi} \cdot t.$$

Это выражение мы напишем в более простом виде, именно:

$$\Theta = t + A \cdot \frac{J_0(a\lambda)}{\Psi} \cdot e^{-m\tau} \dots \dots \dots (17)$$

причем Ψ обозначает следующую функцию от $a\lambda$ и $b\lambda$:

$$\Psi = \frac{1}{2} \cdot \frac{a\lambda \cdot J_0(a\lambda) \cdot \left(\frac{b}{a} + \frac{2}{3} \right)}{\frac{b}{a} \cdot J_1(a\lambda) + \frac{1}{a^2} \cdot \int_0^{a\lambda} x^2 J_0(x) dx} \dots \dots \dots (18)$$

(При выводе формулы (18) следует принять во внимание, что:

$$\int_0^a x J_0(x) dx = a J_1(a) \text{ и что:}$$

$$V = \pi a^2 b + \frac{2}{3} \pi a^3.$$

Вычислим теперь потерянное резервуаром термометра тепло Q из рассмотрения отдачи тепла внаружу поверхностью S резервуара. В силу сделанных выше предположений количество тепла dQ , прошедшее сквозь поверхность S за элемент времени $d\tau$ между моментами $\tau + d\tau$ и τ , равно:

$$dQ = H (u_1 - t) \cdot S \cdot d\tau.$$

Полное количество тепла Q будет равно:

$$Q = \int dQ = \int_{\tau_{II}}^{\tau_I} S \cdot H \cdot (u_1 - t) d\tau$$

или, считая H не зависящим от $u_1 - t$:

$$Q = H S \cdot \int_{\tau_I}^{\tau_{II}} (u - t) d\tau \dots \dots \dots (19)$$

Подставив сюда вместо u_1 его значение:

$$u_1 = u \Big|_{r=a} = t + A J_0(a\lambda) e^{-m\tau} \dots \dots \dots (21)$$

получим следующее выражение:

$$Q = \frac{1}{m} \cdot H \cdot S \cdot J_0(a\lambda) \cdot A (e^{-m\tau_I} - e^{-m\tau_{II}}).$$

С другой стороны, применив формулу (4) и введя в нее вместо θ его выражение (17), мы находим, что:

$$Q = C \cdot \frac{J_0(a\lambda)}{\Psi} \cdot A (e^{-m\tau_I} - e^{-m\tau_{II}}).$$

Сравнение двух последних формул приводит к результату:

$$\frac{1}{m} = \frac{C}{S} \cdot \frac{1}{H} \cdot \frac{1}{\Psi}.$$

Из формулы (17), относя ее к двум моментам времени $\tau = \tau_I$ и $\tau = \tau_{II}$, получим:

$$\frac{\theta_I - t}{\theta_{II} - t} = e^{m(\tau_{II} - \tau_I)} = e^{m\tau}$$

и окончательно:

$$\frac{1}{m} = \frac{T}{\left(\log \frac{\theta_I - t}{\theta_{II} - t} \right)} = \frac{C}{S \cdot H \cdot \Psi} \dots \dots \dots (21)$$

Группа формул (21), (18), (17), (14) и (12) содержит решение вопроса об охлаждении термометра при данном состоянии окружающей его среды, влияние которой суммарно характеризуется коэффициентом H или h .

Примечание 1-ое.

Уравнение (2) выводится следующим образом.

Пусть α — температурный коэффициент объема термометрической жидкости; обозначим V_0 весь объем, занимаемый ею при условии, что

все ее части имеют одинаковую температуру u_0 ; dv_0 — объем, занимаемый элементом массы жидкости при температуре u_0 . Очевидно, что $dv_0 = dv [1 - \alpha (u - u_0)]$; отсюда интегрированием получается:

$$\begin{aligned} \int \int \int dv_0 &= V_0 = \int \int \int dv - \int \int \int \alpha (u - u_0) dv; \\ V_0 &= V - \alpha \int \int \int u dv + \alpha \int \int \int u_0 dv; \\ V_0 &= V (1 + \alpha u_0) - \alpha \int \int \int u dv \dots \dots \dots (a) \end{aligned}$$

Тот же объем V , который жидкость занимает в условиях какого-нибудь неравномерного распределения температур, она может занимать и в условиях равномерного распределения температур по всему объему V ; общая температура всех ее частей названа Θ . Очевидно, что для перехода от V к V_0 имеем уравнение:

$$V_0 = V [1 - \alpha (\Theta - u_0)] \text{ или } V_0 = V (1 + \alpha u_0) - \alpha V \cdot \Theta \dots \dots \dots (b)$$

Из сравнения (a) и (b) получится формула (2).

Примечание 2-ое.

Для вычисления интеграл разбиваем на сумму двух, из которых 1-ый I_1 распространяется на объем цилиндра, 2-ой I_2 — на объем полушара

$$\int \int \int u dv = I_1 + I_2.$$

Для вычисления I_1 вводим цилиндрические координаты z, φ, r ; тогда:

$$\begin{aligned} dv &= dz \cdot dr \cdot r d\varphi \text{ и } I_1 = \int_0^a dr \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^b ur dz = \\ &= \int_0^a dr \int_0^{2\pi} d\varphi \cdot b \cdot ur = b \int_0^a dr \cdot ur \cdot 2\pi \end{aligned}$$

и окончательно:

$$I_1 = 2b\pi \int_0^a ur dr.$$

Для вычисления интеграла I_2 вводим сферические координаты r, φ, θ ; тогда элемент объема $dv = r^2 \sin \theta d\varphi d\theta dr$.

Чтобы получить все точки полушара, нужно менять φ от 0 до 2π , θ от $\frac{\pi}{2}$ до π , r от 0 до a .

$$I_2 = \int_0^a dr \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} d\theta \int_0^{2\pi} d\varphi \cdot ur^2 \sin \theta = \int_0^a dr \cdot ur^2 \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} \sin \theta d\theta \cdot 2\pi = 2\pi \int_0^a dr \cdot ur^2.$$

Таким образом получится:

$$I_2 = 2\pi \int_0^a ur^2 \cdot dr.$$

Примечание 3-ье.

Пренебрежение всеми членами ряда (9), кроме 1-го, стоит в непосредственной связи с общим законом аналитической теории тепла, имеющим место для какой угодно охлаждающей системы.

Общее решение задачи для всякой системы имеет форму ряда $u = \Sigma A U e^{-m\tau}$, где U — функции координат, A — постоянные числа. Пусть время τ растёт, так что степени $e^{-m\tau}$ представляют довольно малые дроби от их общей начальной величины 1. Разные члены ряда убывают далеко не с одинаковой быстротой, именно каждый член становится исчезающе малым по сравнению с предыдущим, и сумма ряда чрезвычайно мало отличается от 1-го члена. Таким образом, температура $u = u - t$ задолго до того, как стать физически равной нулю, принимает форму $u = A_1 U_1 e^{-m_1 \tau}$. Тогда характер распределения температуры в системе, выражаемый функцией U_1 , неизменен и не зависит от начального состояния системы, а определяется единственно ее геометрической формой, размерами и физическим составом. Такой режим охлаждения *Boussié* называет *état régularisé ou réultième du système* (см. его „*Théorie analytique de la chaleur*“, т. I, п^o 129).

Мы будем называть его „правильным режимом“.

З а к л ю ч е н и е.

Формула (21) является развитием обычно применяемой при изучении отставания термометров формулы, приводимой в курсах и справочниках (напр. у *Guillaume*'а в *Traité de la Thermométrie*, у *Kohlräusch*'а, у *Хвольсона*). При ее доказательстве применяют закон охлаждения Ньютона в первоначальной форме, считая температуру во всех точках резервуара термометра одинаковой. Если это предположение и допустимо по отношению к ртутным термометрам и термометрам с резервуаром малого диаметра, то по отношению к спиртовым термометрам или с большим резервуаром от него приходится отказаться и учитывать неравномерность распределения температур; это и было здесь выполнено.

Аналогичная задача, с учетом неравномерности распределения температур, разрешена *McLeod*'ом в статье „*On the Lags of Thermometers*“, опубликованной в *Philosoph. Magaz.* Vol. XLIII, 1922, 49—69.

Из предыдущих рассуждений видно, что закон охлаждения сохраняет ту же форму $\theta - t = M e^{-m\tau}$, как и в простейшем предположении равномерного распределения температур, но лишь при условии, что с начального момента охлаждения до момента наблюдения протекло достаточно времени, чтобы наступил правильный режим охлаждения, охарактеризованный в примечании 3-ем.

Для сравнения приводим формулу охлаждения.

Обычно употребляемая говорит, что в

$$\frac{\theta_2 - t}{\theta_1 - t} = e^{-\frac{HS}{C} T},$$

т.-е. (см. курс физики *Хвольсона* т. III изд. 1923 г.);

$$m = \frac{HS}{C};$$

у нас получилось:

$$\frac{\theta_2 - t}{\theta_1 - t} = e^{-\frac{HS}{C} \cdot \Psi \cdot T},$$

т.-е.:

$$m = \frac{HS}{C} \cdot \Psi.$$

О ФОРМУЛЕ GRIFFITHS'A ДЛЯ КАТА-ТЕРМОМЕТРА.

Г. М. Кондратьев.

Принятый Главной Палатой мер и весов способ массовой поверки ката-термометров принадлежит О. W. Griffiths'y и основан на данной им (в мемуаре, опубликованном в 1916 г. в *Philosophical Transactions*, Ser. 13, 207) формуле:

$$F = 0,27 (36,5 - t) T, \dots \dots \dots (1)$$

выражающей средний результат многочисленных опытов. Кроме О. W. Griffiths'a и изобретателя ката-термометра L. Hill'a, опытной проверкой формулы (1) в последние годы занимался Т. С. Angus (см. the *Journal of Industrial Hygiene*, VI, 1924, № 1 статья "The determination of the factor of the kata-thermometer") и нашел, что в формуле (1) вместо коэффициента 0,27 следует взять несколько большее число; однако, опыты Т. С. Angus'a нельзя считать достаточно убедительными, да и сам он не отказывается от пользования формулой (1) с коэффициентом, равным 0,27. Во всяком случае, все экспериментировавшие с ката-термометрами не сомневались в том, что при охлаждении ката-термометра должно иметь место уравнение вида:

$$F = \varphi (36,5 - t) T, \dots \dots \dots (2)$$

где φ — постоянное, для всех ката-термометров одинаковое, число; при охлаждении в спокойном воздухе $\varphi = 0,27$ по О. W. Griffiths'y.

Целью настоящей статьи является: 1) дать теоретический вывод формулы (2) и одновременно выяснить, при каких условиях можно ее применять; 2) установить, с какой точностью определяется фактор ката-термометра при пользовании способом, основанном на формуле (1); 3) установить, каким требованиям в смысле изготовления должен удовлетворять ката-термометр, чтобы принятый метод массового определения фактора не повел к чрезмерно грубым ошибкам.

Рассмотрим несколько подробнее, чем это сделано в изданной Главной Палатой мер и весов брошюре "Ката-термометр Хилла" (1925 г.), ту величину, для измерения которой предназначен ката-термометр: "охлаждающую силу воздуха вблизи 98° F" (the cooling power of the air in the neighborhood of 98° F — стр. 186 l. c.). Ее мы обозначим через G (в цитированной брошюре она названа H) и определим, как количество тепла, теряемое в среднем за одну секунду одним квадратным сантиметром резервуара ката-термометра при охлаждении его от точки 100° F (= 37°, 78° C) до точки 95° F (= 35° C) на его шкале. При этом подразумевается, конечно, что все элементы поверхности резервуара ката-термометра находятся в одинаковых условиях в смысле теплоотдачи (напр., вблизи нет сильного источника лучистой энергии, посылающего пучок лучей на один какой-либо участок поверхности резервуара ката-термометра). Температура 98° F, о которой здесь идет речь, близка к нормальной температуре чело-

вещеского тела (за нее обычно принимается $36,5^{\circ}\text{C}$). Вместо точек 100°F и 95°F можно было бы взять и другие две точки вблизи 98°F или $36,5^{\circ}\text{C}$; обозначим их L_I — верхняя — и L_{II} — нижняя точка (см. рис. 1). Последующие рассуждения относятся именно к такому общему случаю.

Пользуясь ката-термометром для измерения G , как указано в выше цитированной брошюре, мы отмечаем моменты времени τ_I и τ_{II} , в которые мениск спирта в капилляре проходит через верхний и нижний штрихи. Конечно, нельзя говорить, что в эти моменты времени температура ката-термометра равна как раз L_I и L_{II} , и это — по двум причинам. Во-первых, нельзя пренебречь, ввиду большого диаметра резервуара и ввиду малой теплопроводности спирта, различиями температур в разных точках внутри резервуара; во-вторых, штрихи L_I и L_{II} могут быть нанесены со значительной ошибкой.

Первое обстоятельство позволяет говорить лишь о средней температуре H ката-термометра в каждый данный момент времени τ ; ее значения для моментов времени τ_I и τ_{II} обозначим H_I и H_{II} . Как доказано в статье „Формула для охлаждения термометра“, количество тепла, потерянное резервуаром его за промежуток времени $T = \tau_{II} - \tau_I$, равно $Q = C(H_I - H_{II})$, где C — водный эквивалент резервуара. По определению охлаждающая сила G среды, в которую помещен ката-термометр, равна $S \frac{Q}{(\tau_{II} - \tau_I)}$, если S — площадь поверхности резервуара. Отсюда получается формула:

$$G = \frac{C(H_I - H_{II})}{ST} \dots \dots \dots (3)$$

Ката-термометр градуируется, как обыкновенный термометр; поэтому температуры H_I и H_{II} находятся посредством обыкновенной поверки; мы имеем для них:

$$H_I = L_I + \Delta_I, \quad H_{II} = L_{II} + \Delta_{II}, \dots \dots \dots (4)$$

где Δ_I и Δ_{II} — поправки в точках L_I и L_{II} . Введя обозначение:

$$\Phi = \frac{C}{S}(H_I - H_{II}), \dots \dots \dots (5)$$

формулу (3) переписываем в виде:

$$G = \frac{\Phi}{T} \dots \dots \dots (6)$$

В частном случае, когда $H_I = 100^{\circ}\text{F} = 37,78^{\circ}\text{C}$ и $H_{II} = 95^{\circ}\text{F} = 35^{\circ}\text{C}$, мы имеем:

$$G = \frac{F}{T} \dots \dots \dots (7)$$

и

$$F = \frac{C}{S} \cdot 2,78 \dots \dots \dots (8)$$

F и есть „фактор ката-термометра“.

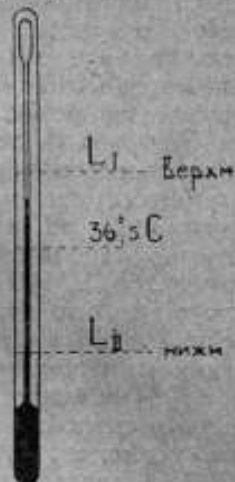


Рис. 1.

Из самого существа вопроса видно, что величина охлаждающей силы G данной среды при измерении ее посредством ката-термометра определяется не только физическими свойствами среды, но также физическими свойствами и геометрическими размерами применяемого ката-термометра; таким образом, он измеряет величину своего собственного охлаждения в данной среде, а не одно какое-либо определенное свойство среды (в роде ее упругости, температуры, электропроводности и т. п.), и отличается в этом отношении от огромного большинства употребляемых в физике приборов. Поэтому естественно ожидать, что численные значения величины G , получаемые при помощи разных экземпляров ката-термометров, поставленных совершенно в одинаковые условия, только тогда могут достаточно мало отличаться друг от друга, когда все приборы будут изготовлены по одной и той же модели, которая должна явиться, так сказать, эталоном охлаждения. Такова и была мысль изобретателя ката-термометра L. Hill'a; но осуществить ее на практике оказалось трудно: дело в том, что приборы, изготовленные по одному и тому же рецепту, в одной и той же мастерской, даже из одной и той же партии, слишком различны, чтобы их можно было считать копиями одного и того же прибора. Тем не менее, O. W. Griffiths и L. Hill произвели многочисленные опыты в спокойном воздухе умеренной влажности или сухом над разными ката-термометрами (см. стр. 195—197 выше цитированного мемуара в *Philos. Transactions, Ser. 13, 207*) и получили замечательный результат: охлаждающая сила, которую назовем для этого случая G_0 , выражается одинаковой для всех приборов линейной функцией от $\theta = 36,5 - t$, т. е. от разности между нормальной температурой ката-термометра и температурой окружающего воздуха, именно:

$$G_0 = 0,27 \theta \dots \dots \dots (9)$$

Отсюда, согласно формуле (7), получится для охлаждения в спокойном воздухе формула (1).

Согласно цитируемого мемуара, она имеет место for instruments made to the same pattern, т. е. для ката-термометров, у которых диаметр резервуара близок к 2 см, а длина — к 4 см, но вопрос о том, какие можно допустить отклонения от этих размеров без ощутительного влияния на постоянную формулы (1), остается незатронутым. Этот вопрос, имеющий значение для нормирования ката-термометра, решается при помощи простых теоретических соображений, основанных на общей формуле для охлаждения ката-термометра, к выводу которой мы и переходим.

Пусть b и $2a$ высота и диаметр резервуара, имеющего форму цилиндра, соединенного с полушаром. Для охлаждения термометра с цилиндрическим резервуаром нами выведена формула:

$$T \cdot \frac{1}{\log \left(\frac{\theta_1 - t}{\theta_2 - t} \right)} = \frac{C}{S \cdot H \cdot \Psi} \dots \dots \dots (10)$$

Здесь t означает температуру окружающей среды, которая предполагается постоянной, буквы θ_1 , θ_2 , T , S , C имеют указанный выше смысл; H — коэффициент внешней теплопроводности резервуара, зависящий, между прочим, от свойств и состояния окружающей среды; Ψ — функция от чисел $\frac{b}{a}$ и x вида:

$$\Psi = \frac{1}{2} \cdot \frac{x J_0(x) \left(\frac{b}{a} + \frac{2}{3} \right)}{\frac{b}{a} \cdot J_1(x) + \frac{1}{x} \cdot \int_0^x x^2 J_0(x) dx} \dots \dots \dots (11)$$

где x есть наименьший корень трансцендентного уравнения:

$$ah \cdot J_0(x) = x J_1(x), \dots \dots \dots (12)$$

при чем h обозначает отношение:

$$\frac{\text{коэффициент внешней теплопроводности}}{\text{коэффициент внутренней теплопроводности}} = \frac{H}{x} = h.$$

$J_0(x)$ и $J_1(x)$ — Бесселевы функции 1-го рода порядков нуль и единица. Второе слагаемое знаменателя дроби в правой части равенства (11) удобно разлагается в быстро сходящийся ряд:

$$\frac{1}{x^2} \cdot \int_0^x x^2 J_0(x) dx = \frac{1}{3} - \frac{1}{20} x^2 + \frac{1}{448} x^4 - \dots \dots \dots$$

Приложим формулу (10) к ката-термометру, причем заменим в ней C/S равным ему выражением $\Phi/\theta_1 - \theta_{II}$ на основании формулы (5); мы получим:

$$\Phi = H \Psi \frac{\theta_1 - \theta_{II}}{\log \left(\frac{\theta_1 - t}{\theta_{II} - t} \right)} T \dots \dots \dots (13)$$

Поэтому в общем случае для охлаждающей силы какой-либо среды получается формула:

$$G = H \Psi \frac{\theta_1 - \theta_{II}}{\log \left(\frac{\theta_1 - t}{\theta_{II} - t} \right)} \dots \dots \dots (14)$$

Она выражает полную потерю тепла единицей площади поверхности резервуара за единицу времени, т.е. учитывает суммарно лучеиспускание поверхности, теплопроводность среды и явления вынужденной или свободной конвекции в окрестностях резервуара.

Заметим, что во многих случаях функцию от t в общей формуле (14) или (13) можно заменить линейной функцией. Пусть θ_1 и θ_{II} отличаются от температуры $36,5^\circ \text{C}$ на α и β , так что

$$\left. \begin{aligned} \theta_1 &= 36,5 + \alpha \\ \theta_{II} &= 36,5 - \beta \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (15)$$

Тогда оказывается, что, если температура среды t не очень близка к $36,5^\circ \text{C}$, то можно считать приближенно:

$$\frac{\theta_1 - \theta_{II}}{\log \left(\frac{\theta_1 - t}{\theta_{II} - t} \right)} = 36,5 + \frac{\alpha - \beta}{2} - t \dots \dots \dots (16)$$

(Для вывода этой формулы нужно разложить функцию от t , фигурирующую в формуле (14), в ряд по степеням t и пренебречь членами высших порядков).

Если, далее, можно пренебречь разностью $\frac{\alpha - \beta}{2}$ сравнительно с $36,5 - t = \theta$, то из (16) мы получим приближенное равенство:

$$\frac{\theta_1 - \theta_{II}}{\log \left(\frac{\theta_1 - t}{\theta_{II} - t} \right)} = 36,5 - t = \theta \dots \dots \dots (17)$$

Ката-термометром всего чаще пользуются при температурах t , лежащих между 10° и 25° ; в этом случае ошибка, происходящая от применения приближенной формулы (17), будет порядка 1% — 2%.

Вместо формулы (13) получается, таким образом, формула:

$$\Phi = H\Psi(36,5 - t)T \dots \dots \dots (18)$$

и вместо (14) формула:

$$G = H\Psi(36,5 - t) \dots \dots \dots (19)$$

Следовательно, мы приходим к формуле (2), стоит только положить $H\Psi = \varphi$.

Эти формулы имеют место, во-первых, поскольку правильна формула (17), во-вторых, поскольку соблюдены условия, при которых применима исходная формула (10). Они состоят в следующем.

Прежде всего, в основу положен закон охлаждения Ньютона в его дифференциальной форме, которой обычно пользуются в теории теплопроводности¹⁾. В тех случаях, когда обыкновенно применяют ката-термометр, закон Ньютона достаточно точно для целей техники учитывает потерю тепла (см. напр., тот же мемуар L. Hill'a и P. W. Griffithsa, затем статью P. Comran в „Annales de chimie et de physique“ 1902, XXVI и трактат J. Boussinesq'a „Théorie analytique de la chaleur“ т. II, стр. 188—189). Но строго говоря, коэффициент H внешней теплопроводности зависит от температуры t ; мы предположили, что его изменением с температурой t можно пренебречь, однако, приходится допустить возможность колебаний в 1—2% около средней величины (см. напр., статью Charlton и Less'a в Phil. Magaz. 41, V Ser., 1896).

Далее мы предположили, что все элементы поверхности резервуара в каждый данный момент времени находятся в тождественных условиях; конечно, такое упрощающее предположение, равносильное предположению, что H для всех элементов одинаково, не отражает точно явление теплоотдачи, однако, оно допустимо по соображениям, приводимым J. Boussinesq'ом в § 275 его трактата; оказывается, что можно при вычислениях считать коэффициент H постоянным во всех точках охлаждающегося тела; эта постоянная есть средняя величина коэффициента H . Заметим, что средняя величина H , получаемая из опытов, зависит не только от состояния поверхности тела (полированная она или матовая), но преимущественно от легких случайных воздушных потоков вблизи тела. Последнее замечание, в связи с выведенными здесь формулами, объясняет наблюдавшуюся экспериментаторами восприимчивость ката-термометра к слабым воздушным потокам; в самом деле, всякое изменение H отзовется на правой части формулы (19), т.-е. и на G .

Таким образом, формула (18) или (19) применима только при такой обстановке опыта, которая обеспечивает достаточное постоянство для величины H и, конечно, для температуры t в течение всего опыта: t мало колеблется около некоторого значения, и средние значения H близки друг к другу.

Наконец, нужно обратить внимание на следующее обстоятельство. Формула (10), из которой получена формула (18), выведена в предположении, что, начиная с момента времени τ , уже наступил „правильный режим охлаждения“ (в статье „Формула для охлаждения термометра“ дана подробная характеристика этого состояния охлаждающей системы). Отсюда вытекает, что размеры капилляра ката-термометра и размеры a и b должны быть так подобраны, чтобы с момента начала охлаждения до момента первого отчета прошло достаточно времени для установления правильного режима. Этому условию — условию „regulare rate of cooling“,

¹⁾ См. стр. 10 книжки: E. Warburg. Über Wärmeleitung u. and. 1924 г.

как выражается L. Hill (стр. 186 l. с.), удовлетворяет ката-термометр имеющий указанные им размеры и изображенный на рис. 2.

Из общей формулы (19), имеющей место во всех тех случаях, в которых соблюдены только что указанные условия, получается формула (1) для частного случая охлаждения ката-термометра в спокойном воздухе постоянной температуры t . Практически этот случай осуществляется следующим образом. Ката-термометр заключен в закрытый со всех сторон сосуд, достаточно больших размеров, стенки которого поддерживаются при постоянной температуре t ; никакие объемные силы, кроме сил тяжести, на воздух внутри сосуда не действуют, так что вокруг резервуара ката-термометра воздух находится в состоянии свободной конвекции, а вдали от него — в покое. В такой именно обстановке и протекали опыты L. Hill'a и O. W. Griffiths'a; они нашли достаточным взять сосуд в виде куба с ребрами длиной 17", т. е. вместимостью приблизительно в 64 л. Охарактеризованные здесь условия „спокойного воздуха“ отвечают определенному значению коэффициента внешней теплопроводности H , если еще будет указано состояние поверхности резервуара, — сухой он или смоченный. Пусть резервуар сухой. Значение H можно оценить в

$$H = 0,0003 \frac{\text{г кал.}}{\text{см}^2 \text{ сек. град.}}$$

примем $h = 0,5 \frac{1}{\text{см}}$, считая $\kappa = 0,0006 \frac{\text{г кал.}}{\text{см сек. град.}}$

Размеры резервуара возьмем те самые, которые были в опытах L. Hill'a и O. W. Griffiths'a: $a = 0,95 \text{ см}$ и $b = 3,23 \text{ см}$. Тогда $ah = 0,475$ и наименьший корень x уравнения (12) будет $x = 0,92$. (Для решения уравнения (12) удобно воспользоваться таблицами Бесселевых функций; см., между прочим, Jahnke und Emde Funktionentafeln) 1923 г., стр. III). Ψ вычисляется по формуле (11) и равно:

$$\Psi = \frac{1}{2} \cdot \frac{0,92 \cdot 0,7998 \cdot 4,067}{3,4 \cdot 0,413 + 0,2928} = 0,8815.$$

Отсюда получится для постоянной φ в формуле (19) значение $\varphi = H\Psi = 0,8815 \cdot 0,0003 = 0,000265 \frac{\text{г кал.}}{\text{см}^2 \text{ сек. град.}}$

Если введем вместо грам-калории — милликалорию, то получается

$$F = 0,265 (36,5 - t) T \frac{\text{милликал.}}{\text{см}^2 \text{ град.}}$$

(Здесь, как и везде, T выражено в секундах). Согласно с опытными данными O. W. Griffiths'a и L. Hill'a, как видим, вполне достаточное.

Теперь выясним, как изменяется функция Ψ с изменением a и b : из наших предыдущих рассуждений еще не видно, чтобы при a и b , отличающихся от $0,95 \text{ см}$ и $3,23 \text{ см}$, можно было принять φ в формуле (2) близким к $0,27$.

Всего удобнее рассматривать Ψ , как функцию только a , задав b постоянным, а потом, как функцию b , дав постоянное значение a . Так как Ψ есть функция от ah и b/a , то нужно остановиться на определенном значении h ; примем $h = 0,5 \frac{1}{\text{см}}$.

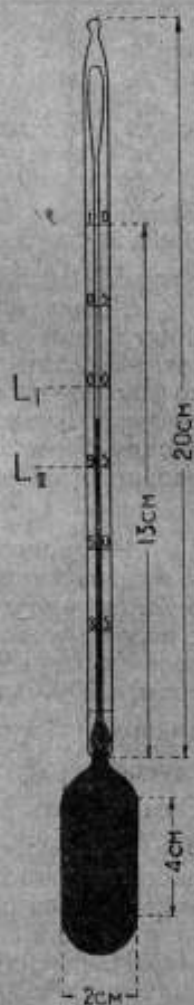


Рис. 2.

1. Примем $b = 4$ см и дадим a ряд значений, близких к 1 см; вычислив x , найдем Ψ , получится следующая таблица:

a	Ψ
0,6	0,92
0,7	0,90
0,8	0,89
0,9	0,88
1,0	0,87
1,2	0,87

Величина $a = 0,8 - 0,75$ см представляет обычный размер радиуса резервуара изготавливаемых стеклодувной мастерской Главной Палаты мер и весов ката-термометров. Таблица показывает, что отклонения в $0,1 - 0,2$ см от этого размера мало влияют на величину Ψ (она меняется на $1\frac{1}{2} - 2\%$), а следовательно, и на число $H\Psi$, т.е. и на постоянную в формуле (1).

2. Совершенно тем же приемом исследуется влияние на Ψ длины резервуара b . Полагаем a постоянным, равным 1,0 см, а b придаем значения 3 см, 5 см, 10 см. Считая $h = 0,5 \frac{1}{\text{см}}$, находим Ψ соответственно равным 0,878, 0,881, 0,884.

Значит, влияние размера b несущественно: изменение его в 3 раза влияет лишь на тысячные доли в выражении для Ψ . Конечно, не имеет смысла делать b или слишком большим или слишком малым. При b малом по сравнению с a на распределение температур внутри резервуара будет оказывать влияние верхняя часть резервуара (место соединения ее с капилляром). Этим влиянием мы пренебрегли при выводе формулы (10). Рационально ограничить b пределами:

$$3,25 \text{ см} \leq b \leq 4,5 \text{ см}.$$

Исследовав, как меняется коэффициент φ формулы (2) с изменением a и b , рассмотрим, как влияет на него состав алкоголя, употребляемого в качестве термометрической жидкости. Теплопроводность смеси алкоголя с водой больше, чем теплопроводность чистого алкоголя; по данным справочника Landolt'a изд. 1923 г., можно считать, что теплопроводность смеси воды с 80% алкоголя равна приблизительно 1,25 теплопроводности чистого алкоголя. Соответственно этому, величина $h = \frac{H}{x}$ должна быть во втором случае в 1,25 раз меньше, чем в первом случае. Поэтому во втором случае следует взять $h = \frac{0,5}{1,25} = 0,4$. Тогда для ката-термометра, у которого $a = 0,95$ см, $b = 4$ см, мы найдем $ah = 0,38$, $x = 0,83$ и $\Psi = 0,89$, между тем, как в случае чистого алкоголя оказалось $\Psi = 0,88$. Отсюда можно заключить, что замена чистого алкоголя смесью воды с 80% алкоголя изменит величину Ψ менее, чем на $1\frac{1}{2}\%$.

Изменение коэффициента H порядка до 20% мало влияет на числовые значения Ψ . Это видно из предыдущего подсчета: в самом деле $H = hx$; поэтому изменять h можно или меняя x и оставляя H постоянным или меняя H при постоянном x . Таким образом, изменение H сводится к изменению h . А мы видели, как мало отражается изменение h на Ψ .

Высказанные здесь соображения дают следующее указание для нормирования ката-термометра: если не стремиться к точности больше технической, т.е. 5 — 6%, то при массовой проверке фактора по способу охлаждения в спокойном воздухе можно применять формулу (1), когда размеры ката-термометра заключаются в пределах:

$$2a = 1,4 - 2,2 \text{ см и } b = 3,25 - 4,5 \text{ см}.$$

причем употребляемый для наполнения алкоголь может содержать до 20% воды. Чтобы убедиться в этом, сперва рассмотрим, насколько величина φ в случае спокойного воздуха может отличаться от своего среднего значения 0,27; непостоянство H может повлечь отклонение до 2%, вариирование Ψ возможно

до 1—2%; поэтому следует ожидать отклонения $\varphi = H\Gamma$ от среднего значения 0,27 в 3—4%. Далее, замена более точной формулы (13) приближенной (18), влечет ошибку в 1—2%, поэтому общая ошибка при вычислении фактора по формуле (1), зависящая от указанных здесь причин, составит примерно 4—6%.

Есть еще источник ошибок, на который, повидимому, экспериментаторы не обратили должного внимания.

Формула (1) относится к определенному выбору штрихов L_I и L_{II} , именно $L_I = 100^\circ \text{ F} = 37,78^\circ \text{ C}$ и $L_{II} = 95^\circ = 35^\circ \text{ C}$, а время T соответствует охлаждению на $2^\circ, 78^\circ \text{ C}$; если же штрихи L_I и L_{II} значительно отличаются от 100° F и 95° F , то время T_1 (наблюденное), протекшее между моментами прохождения мениска спирта мимо штрихов L_I и L_{II} , будет значительно отличаться от времени T , протекшего между моментами прохождения мениска мимо штрихов шкалы, соответствующих точкам 100° F и 95° F . Считая скорость охлаждения, равную $\frac{d\theta}{dt}$, постоянной в течение рассматриваемых промежутков времени, мы имеем очевидную пропорцию:

$$T : T_1 = 2,78 : (\theta_1 - \theta_{II}).$$

Отсюда, на основании формулы (15), получится:

$$T_1 = \frac{\alpha + \beta}{2,78} T = KT \dots \dots \dots (20)$$

Числа α и β вычисляются, зная поправки ката-термометра в точках L_I и L_{II} :

$$\alpha = (L_I + \Delta_I) - 36,5$$

$$\beta = 36,5 - (L_{II} + \Delta_{II}).$$

Здесь введено обозначение:

$$K = \frac{\alpha + \beta}{2,78} = \frac{(L_I - L_{II}) + (\Delta_I - \Delta_{II})}{2,78} \dots \dots \dots (21)$$

На основании (20) формула (1) заменяется формулой:

$$KF = 0,27(36,5 - t) T_1 \dots \dots \dots (22)$$

отличающейся от (1) только тем, что вместо F стоит произведение KF . Такое же замечание относится к величине G ; для ее определения нужно пользоваться не формулой (7), а формулой (23):

$$G = \frac{KF}{T_1} \dots \dots \dots (23)$$

Отсюда вытекает следующее заключение: если штрихи L_I и L_{II} шкалы ката-термометра отвечают температурам $L_I + \Delta_I$ и $L_{II} + \Delta_{II}$, то, применяя формулы (1) и (7), следует ввести в них поправочный коэффициент K , вычисляемый по формуле (21). Выражение KF можно назвать „приведенным фактором“. Под буквой T следует попрежнему понимать время, течение которого мениск опускается от штриха L_I до штриха L_{II} . K равно 1 только в том случае, когда $L_I = 100^\circ \text{ F}$, $L_{II} = 95^\circ \text{ F}$, причем поправки Δ_I и Δ_{II} настолько малы, что ими можно пренебречь. Какого порядка ошибка получается от неосмотрительного применения формулы (1), покажем на двух примерах.

1-й пример: ката-термометр градуирован по шкале Фаренгейта, причем $\Delta_I = +0,05^\circ \text{ C}$ и $\Delta_{II} = -0,05^\circ \text{ C}$; тогда $K = \frac{2,78 + 0,1}{2,78}$, и предположение $K = 1$ влечет за собой ошибку в $\frac{0,1}{2,78} = 3,6\%$.

2-й пример: ката-термометр градуирован по стоградусной шкале, так что $L_I = 38^\circ \text{C}$ и $L_{II} = 35^\circ \text{C}$, причем Δ_I и Δ_{II} практически равны нулю; тогда $K = \frac{3}{278} = 1,08$; поэтому предположение $K = 1$ влечет за собой ошибку в 8%.

Следовательно, ошибками, связанными с градуировкой ката-термометра, не всегда можно пренебречь.

В предыдущем выводе было предположено, что Θ меняется со временем τ равномерно. Это предположение для интервала $95^\circ - 100^\circ \text{F}$, подтверждается опытом. Его можно вывести и теоретически следующим образом.

В статье „Формула для охлаждения термометра“ получено уравнение (15) для Θ ; оно имеет вид:

$$\Theta = t + Me^{-m\tau}$$

причем

$$m = k\lambda^2 \text{ и } k = \frac{x}{\rho c}$$

обозначим

$$\Theta_{\tau=0} = \Theta_0;$$

тогда:

$$\Theta - t = (\Theta_0 - t) e^{-m(\tau - \tau_0)}$$



Рис. 3.

(Это уравнение изображает, при разных значениях параметра t , семейство кривых, полученных L. Hill'ом и O. W. Griffith'ом из их опытов и изображенных в их мемуаре на рис. 5 и 13). Пока $\tau - \tau_0$ меньше нескольких минут, функцию $e^{-m(\tau - \tau_0)}$ с большим приближением можно заменить линейной функцией $1 - m(\tau - \tau_0)$, и поэтому в начале, т.е. в интервале $100^\circ - 95^\circ \text{F}$, графики для ката-термометров, как видно из рис. 3, почти прямые линии, уравнение которых есть:

$$\Theta + (\Theta_0 - t) \cdot m(\tau - \tau_0) = \Theta_0.$$

Чтобы убедиться в справедливости такой замены, достаточно, хотя бы приблизительно, оценить коэффициент m . Приняв $x = 0,0006$, $c = 0,5$, $\rho = 0,8$, $a = 1$ (в системе единиц сантиметр-грамм-секунда), мы находим:

$$k = 1,5 \cdot 10^{-3}, \quad \lambda = \frac{x}{a} = 0,941, \quad \lambda^2 = 0,885, \quad \text{и } m = 1,33 \cdot 10^{-3}.$$

Время охлаждения обыкновенно не больше 2—3 минут; возьмем $\tau - \tau_0 = 200$ сек. (т.е. даже больше 3 мин.); тогда ошибка от замены показательной функции линейной будет число меньшее:

$$\frac{m^2(\tau - \tau_0)^2}{2} = \frac{(1,33)^2}{2} \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 10^4 = 0,035.$$

Приведенный в настоящей статье разбор формулы (1), на которой основана массовая проверка фактора, показывает, что при этом способе проверки он определяется с точностью до 4—6%, если ошибками градуировки можно пренебречь, и с точностью до 10—12%, если эти ошибки значительны и не приняты в расчет. Точность определения фактора может оказаться и еще меньше, когда предположение о малых отклонениях величин H и t от их средних значений не осуществляется в условиях данного опыта, или когда замена функции от t в формуле (14) линейной функцией $\Theta = 36,5 - t$ влечет за собой ошибку больше 2% (например в случае температуры t близкой к 30°C).

В предыдущем рассматривался почти исключительно вопрос об определении F и совершенно не был затронут вопрос о том, с какой точностью

посредством ката-термометра измеряется величина G (предполагая, что фактор F для данного прибора уже определен тем или иным способом). По этому поводу заметим, что при применении ката-термометра не в лабораторной обстановке, а в обыденной, чаще всего при исследовании гигиеничности помещения и при измерении скорости воздушных потоков, сама измеряемая величина G не является величиной постоянной, а колеблется, и часто в широких пределах; эти колебания обусловлены непостоянством коэффициента H . О влиянии на H слабых воздушных течений уже упоминалось выше; обыкновенный ветер также по большей части неустойчив, и дует порывами, поэтому H меняется в течение промежутка времени T , пока длится опыт. Изменение H должно отразиться на G ; это видно и из формулы (14), если вспомнить, что $\Theta = t + Me^{-\frac{t}{M}}$ и что числа m и M зависят от $h = H/x$, иначе сказать, от H . Во всех таких случаях непостоянного режима охлаждения из формулы (7) для G получается некоторая средняя величина, играющая роль в санитарной практике, как показали исследования гигиенистов, но не могущая претендовать на научное значение. Сколько-нибудь ценные в научном отношении результаты можно получить лишь производя опыты с ката-термометром в обстановке близкой к лабораторной, когда есть возможность составить хотя некоторое суждение о постоянстве тех физических величин, которые влияют на коэффициент внешней теплопроводности H . Только тогда можно судить о постоянстве величины G и, далее, о точности, с которой эта величина измеряется посредством ката-термометра.

Два наиболее простых случая такой обстановки представляет собой, во-первых, рассмотренный здесь случай „спокойного воздуха“ (подробности о нем см. в трактате J. Boussinesq'a „Théorie analytique de la chaleur“ том II стр. 172 и т. I стр. 174) и, во-вторых, случай прямолинейного равномерно движущегося со скоростью V воздушного потока постоянной температуры t . Формула (19) имеет место в обоих случаях, причем во втором случае величина H^2 есть определяемая из опыта функция V .

Только что высказанные соображения заставляют рассматривать ката-термометр — в его теперешнем виде, — как довольно грубый технический прибор: его применение основано на формулах, могущих быть полученными путем упрощенного и приближенного математического трактования сложного физического явления. Поэтому можно не предъявлять особо строгих требований в отношении нормирования прибора, именно: диаметр резервуара может меняться в пределах между 1,4 см. и 2,2 см., длина его должна быть не менее 3,25 см.; другие основные размеры указаны в неоднократно цитированном мемуаре L. Hill'a и O. W. Griffiths'a и в настоящее время не видно оснований отступать от них. С градуировкой шкалы прибора можно поступить двояко. Если применять формулу (1) без всяких оговорок, то следует потребовать, чтобы значение промежутка $L_I - L_{II}$, выраженное в градусах стоградусной шкалы, отличалось от $2^{\circ},78$ С не более известной величины, например $0^{\circ},05$ С (чему отвечает ошибка в $1,8\%$ при определении фактора). Если же ввести „приведенный фактор“, вычислив коэффициент K , в который входят и поправки ката-термометра в точках L_I и L_{II} , то можно удовольствоваться грубой градуировкой шкалы. Если K значительно отличается от единицы, то следует ввести в формулы величину KF на место F , потому что только при таком условии показания различных инструментов, изготовленных по одному рецепту, будут сравнимы между собой. Расстояния каждого из штрихов L_I и L_{II} до точки $36^{\circ},5$ С не должны отличаться одно от другого более, чем на $0^{\circ},1$ С, так как в противном случае переход от формулы (16) к формуле (17) повлечет за собой чрезмерно большие ошибки.

К ВОПРОСУ ОБ УСТАНОВЛЕНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ДЛЯ РАДИО-БАТАРЕЙ.

Е. Б. Лопухин.

Глава I. Назначение радио-батарей и условия их действия.

Батареи из сухих или наливных элементов для радиоприемников (радио-батарей) употребляются для питания катодных (электронных) усилительных ламп. Эти батареи по своему назначению разделяются на два типа: катодные, или батареи накала, служащие для накала катодной нити ламп, и анодные батареи, включаемые в анодные цепи последних.

Катодные и анодные батареи существенно различаются между собой: тогда как для накала катодной нити требуется ток порядка десятков и сотен миллиампер, в зависимости от типа катодной лампы, при малом напряжении— не более 5 вольт, для анодных цепей необходимо сравнительно высокое напряжение от 40 до 80 вольт при весьма слабом токе— порядка нескольких миллиампер. В виду этого батареи накала изготавливаются из небольшого числа сухих элементов большой емкости, —обычно трех, соединяемых последовательно, анодные же батареи состоят из большого числа (от 21 до 60) элементов малой емкости, тоже последовательно соединенных¹⁾.

Сухие элементы, служащие для изготовления радио-батарей, представляют собою обычные элементы типа Лекланше. Они состоят из цинкового сосуда призматической или цилиндрической формы, служащего отрицательным электродом элемента, заключенного в картонную оболочку и угольного стержня, представляющего собою положительный электрод. Последний окружен деполаризующим агломератом, в который, главным образом, входит перекись марганца, графит и уголь в порошке с прибавкой некоторого количества нашатыря и хлористого цинка. Точные пропорции входящих в состав агломерата компонентов, различно видоизменяемые, составляют большей частью секрет производства. Агломерат прессуется, плотно придавливается к угольному стержню и обертывается бумагой либо материей. Пространство между агломератом, который не должен касаться дна и стенок цинкового сосуда, заполняется каким-либо связывающим веществом, смачиваемым электролитом и препятствующем последнему вытекать из элемента при его переворачивании, почему такой элемент и получил название „сухого“. Сверху элемент заливается изолирующим составом из разного рода смол, иногда парафина и т. п., который плотно прилегает к краям картонной оболочки. Через слой заливки выводятся зажимы, соединенные с цинком и металлическим колпачком, плотно насаженным на верхнюю часть угольного стержня. Последняя должна быть пропарафинирована ниже колпачка, во избежание поднятия по углю жидкости и разъедания колпачка. Электролитом обыкновенно служит водный раствор нашатыря с примесью хлористого цинка, к которому иногда добавляются ртутные соли. В качестве связывающего вещества употребляются опилки, древесная вата, шерсть,

¹⁾ В настоящее время начали изготавливать анодные батареи также из 10 и 6 элементов.

мука, крахмал, бумага и пр. Деполяризующее действие агломерата заключается в поглощении перекисью марганца выделяющегося при действии элемента водорода. Перекись марганца, отдавая часть кислорода, образует с водородом воду, переходя сама в окись. Однако, в виду плохой электропроводности перекиси марганца, приходится добавлять к ней толченый уголь и графит. Помимо водорода, при действии элемента выделяется еще аммиак, который лишь частично поглощается хлористым цинком, почему во избежание выпучивания элемента под влиянием возрастающего внутри его давления, необходимо аммиак удалить, для чего вставляется в элемент тонкая стеклянная вентиляционная трубка, выходящая наружу через слой заливки.

Помимо таких „сухих“ элементов заводами изготавливаются еще водоналивные элементы и элементы с активной жидкостью. Они во всем подобны сухим элементам, но тогда как последние всегда готовы к действию, эти требуют наливания в них через особое отверстие, закрываемое пробкой, либо воды, растворяющей уже находящиеся в элементе соли, либо активной жидкости, служащей электролитом. Избыток воды и активной жидкости, не поглощенный внутри элемента, сливается через 12 часов, после какового срока элемент готов к действию¹⁾.

Преимущества наливных элементов заключаются в том, что при условии предварительного хранения в абсолютно сухом помещении при комнатной температуре срок их годности можно считать от момента их зарядки, для сухих же элементов—со времени их изготовления. Однако, в виду некоторой сложности в наполнении водой или активной жидкостью большого числа маленьких элементов, которые потом уже соединяются в батарею, анодные радиобатареи из сухих элементов более удобны в обращении и пользуются преимущественным распространением. В СССР изготавливаются только сухие анодные батареи, за границей же изготавливаются как сухие, так и наливные. Для катодных батарей применяются как сухие, так и реже водоналивные элементы.

Электродвижущая сила свежего элемента, сухого и наливного, составляет в среднем 1,50 вольта. Падение ее ниже 1,45 вольта, указывает на явления значительного саморазряда или давность изготовления или зарядки и не должно быть допускаемо при приемках. Саморазряд является результатом возникновения местных токов в самом элементе, вследствие недостаточной чистоты входящих в его состав химических продуктов, а также неудачного состава электролита. С другой стороны не следует допускать и увеличения эл.-дв. силы свыше 1,60 вольта, что может быть достигнуто искусственным путем посредством добавления к электролиту некоторых ингредиентов, хотя бы, например, нескольких капель серной кислоты, так как такое искусственное „взбадривание“ элемента крайне вредно отражается на его долговечности и емкости. Наливные элементы до зарядки их водой или активной жидкостью не должны развивать эл.-дв. силы, что указывало бы на отсыренивание элемента и на начало растворения в нем солей.

Переходя к вопросу об установлении норм и порядка испытания радио-батарей, нужно заметить, что в иностранных государствах таковые пока еще не установлены, за исключением С.-А. Соединенных Штатов и то лишь в отношении анодных батарей, хотя подробно разработанные нормы для отдельных элементов и батарей различного типа существуют как в Америке, так и в Германии²⁾. Вопрос о порядке испытаний американских

¹⁾ 12-ти часовой срок установлен германскими нормами для элементов. См. Vorschriftenbuch des Verbandes Deutscher Electrotechniker. 1925.

²⁾ Circular of the Bureau of Standards №№ 79 и 139. 1919, 1923, а также вышеназванный Vorschriftenbuch.

батареи, поднятый отчетом Radio Battery Committee ¹⁾, еще не получил окончательного разрешения. Таким образом, при разработке наиболее подходящих условий испытания радио-батарей и установления для них норм приходилось исходить из экспериментальных данных, полученных мною в лаборатории постоянного тока Главной Палаты мер и весов тем более, что требования, предъявляемые к радио-батареям, должны быть строго согласованы с условиями действия катодных (электронных) ламп русского производства. Это потребовало исследования катодных ламп, каковое и было произведено Г. А. Кьяндским в Лаборатории токов большой частоты Главной Палаты.

В настоящее время производство в СССР электронных ламп сосредоточивается на Электровакуумном Заводе Треста слабых токов в Ленинграде и в Нижегородской Радиолaborатории, при чем вырабатываются лампы двух типов:

1) с вольфрамовую нитью (марка P5), рассчитанные на 800 часов горения и 2) с торированною нитью, так называемые лампы „микро“ на 500 часов горения.

По данным Г. А. Кьяндского, для лампы P5 при нормальном режиме, т.е. при токе накала в 0,65 ампера и падении напряжения по нити в 3,8 вольта, сила тока в анодной цепи лампы, включенной в усилительную схему, составляет не свыше 3 миллиампер при напряжении 80 вольт с предельными возможными колебаниями последнего на 10 вольт в ту и другую сторону, и для лампы „микро“ тоже при нормальном режиме, т.е. при токе накала в 65 миллиампер и падении напряжения по нити в пределах от 3,6 до 2,7 вольта, сила тока в анодной цепи составляет около 3 миллиампер при напряжении могущем меняться в довольно широких пределах от 80 до 35 вольт.

При этом²⁾ следует заметить, что при параллельном включении ламп (до 3 штук) сила тока накала, естественно увеличивается в соответствующее число раз. При параллельном же питании анодов трех ламп, включенных в разные усилительные схемы (реостатную, обратной связи и трансформаторную), сила тока как для лампы P5, так и для лампы микро мало меняется, оставаясь близкой к 3 миллиамперам.

В самое последнее время Трестом слабых токов начали выпускаться двухсеточные лампы микро (марка—микро Д. С). Ток накала в них тот же, что и для обыкновенной лампы микро, в анодной же цепи они потребляют до 5 миллиампер при напряжении от 6 до 12 вольт.

Глава II. Испытание батарей накала.

Из приведенных данных следует, что батареи накала (которые можно назвать радио-батареями *H* в отличие от анодных батарей *A*) могут применяться из русских ламп лишь к лампам микро, так как лампы P5, требующие до 0,65 ампер на одну, слишком быстро израсходовали бы энергию сухих батарей, почему они обычно накаливаются током от 2—3 аккумуляторов емкостью не менее 20 ампер-часов. Таким образом, при установлении технических условий для радиобатарей *H* надлежит исходить из норм ламп „микро“, т.е. требований, чтобы такая батарея при напряжении в начале ее действия не меньшем 3,6 вольт могла длительно поддерживать ток от 65 миллиампер до 260 миллиампер в зависимости от включения от одной до четырех ламп. Отсюда ясно следует, что такая батарея должна состоять из 3 соединенных последовательно, элементов по 1,5 вольта сравнительно большой емкости, и с начальной электродвижущей силой в 4,5 вольта.

¹⁾ Trans. of the Americ. El. Chem. Soc. Vol. XLV, 1924

Вначале пользования батареей приходится вводить реостат для погашения в нем около 0,9 вольт. При падении напряжения во время работы батареи до 3,6 вольт на ее зажимах, реостат постепенно выводится до конца и далее батарея может быть использована согласно вышеуказанным нормам лампы микро до 2,7 вольт, т.е. до 0,9 вольт на элемент.

Существующие ныне в продаже радиобатареи накала изготавливаются заводами „Электрическая Энергия“ в Ленинграде (два типа) и Московским элементным заводом военной связи—„Мосэлемент“ (при чем один тип—водоналивная). Они составлены из трех последовательно соединенных элементов, заключенных в одну общую оболочку, залитую сверху изолирующим составом. Элементы, составляющие эти батареи, значительно больше по своим размерам элементов, которые предположено ЦЭС (Центральным Электротехническим Советом) стандартизовать (тип А—45×90×175 мм и тип Б—55×55×125 мм), так как по условиям их работы от них требуется сравнительно значительная сила тока и большая емкость. В нижепомещаемой таблице 1 приведены размеры и вес батарей, элементов их составляющих и отдельных частей последних, а также те же данные для элементов А и Б по произведенным мною измерениям.

Таблица 1.

Тип элемента или батареи или № их	Число элементов	Размеры в мм	Объем в куб. см	Вес в г	Форма отдельных элементов	Размеры цинковой коробки элементов в мм	Толщина цинка в мм	Диаметр и длина углов в мм
элементы	А	45 × 90 × 175	709	1650	призматическая	42 × 85 × 160	1,2	30 × 8 × 175 (призматический)
	Б	55 × 55 × 125	378	900		50 × 50 × 115	0,7	
	№ 5	80 × 80 × 150	992	1900	цилиндрическая	75 × 75 × 135	1,0	30; 165
батарей	№ 1	240 × 70 × 185	2772	5330				
	№ 2	210 × 70 × 165	2426	3700				
№ 3 водоналивная	3	210 × 70 × 170	2429	4175	призматическая	67 × 67 × 150	0,7	18; 160

Принимая во внимание, что одна батарея должна служить для одно-временного накала до 4 ламп соединенных параллельно, что вызовет расход тока до 0,25—0,26 ампер, при испытании радио-батарей *H* необходимо исходить из этого максимального требования для производства сравнительной оценки элементов различных типов, составляющих эти батареи, в отношении их емкости. Конечно, при этом испытании наиболее целесообразно было бы подвергать их периодическому замыканию при вышеуказанной силе тока, что соответствовало бы нормальным условиям их использования. Такие испытания предполагаются к установлению в Америке, согласно вышеупомянутому Report of the Radio Battery Committee по двум типам—в более тяжелых и более легких условиях. Первые предусматривают разряд батарей из трех элементов током постоянной силы в 0,25 ампер по 4 часа ежедневно, 6 раз в неделю с промежутками не менее 16 часов между отдельными разрядами до падения напряжения до 0,9 вольт на элемент. Для более легких условий устанавливается разряд той же батареи током в 0,125 ампер по 2 часа ежедневно, 6 раз в неделю с теми же промежутками и до того же падения напряжения. Однако, принимая во внимание крайнюю длительность подобного рода испытаний, которая почти совпадает с действительным сроком службы этих батарей в работе, что чрезвычайно затруднило бы приемочные испытания, необходимо, оставляя приведенный метод для лабораторных испытаний, установить значительно меньшую продолжитель-

ность приемычных испытаний. Для этого в целях их упрощения и облегчения, во 1-х, испытания должны производиться непрерывным разрядом при максимальной нагрузке, и во 2-х, батареи должны замыкаться на постоянное сопротивление, что вполне соответствовало бы общему характеру предположенных ЦЭС'ом испытаний для отдельных сухих элементов.

Исходя из этих соображений, приходим к таким условиям испытания радио-батарей типа *H*. Батарея из трех последовательно соединенных элементов замыкается на постоянное сопротивление в 20 омов, что при начальной электродвижущей силе в 4,5 вольта и начальном внутреннем сопротивлении батареи порядка 2 омов даст силу тока около 200 миллиампер, при чем разряд продолжается до падения напряжения на зажимах батареи до 2,7 вольта.

Предлагаемое испытание несколько отличается от технических условий испытаний элементов типов *A*, *B* и *B*, выработанных ЦЭС'ом, согласно которым каждый элемент ставится на непрерывный разряд через сопротивление в 10 омов до падения напряжения до 0,7 вольта. Однако, падение напряжения до указанного предела исключается требованиями режима катодных микроламп, не допускающими падения ниже 2,7 вольта или 0,9 вольта на элемент, что же касается разрядного сопротивления, то получающийся при сопротивлении в 10 омов начальный ток порядка в 145 миллиампер менее соответствует более тяжелым условиям работы радиобатарей *H* при полной нагрузке их на 3 или 4 лампы, чем ток в 200 миллиампер.

Таким образом, считая наиболее подходящим для испытания радио-батарей типа *H* непрерывный разряд через сопротивление в 20 омов, что почти соответствует разряду отдельных элементов через 7 омов, нужно было для выбора наиболее подходящих элементов для составления батарей, а также для окончательного решения вопроса о величине разрядного сопротивления, определить продолжительность разряда, емкость в ампер-часах и другие характерные для элементов величины, как для предположенных ЦЭС'ом к стандартизации элементов типов *A* и *B*, так и для ходового элемента большей емкости № 5 в условиях разряда через 10 и 7 омов и вместе с тем иметь те же данные для существующих радиобатарей типа *A* при разряде их через 30 и через 20 омов.

Эти данные, представляющие собою результаты произведенных мной измерений, приведены в таблице II.

Все измерения электродвижущих сил и напряжений элементов производились посредством вольтметра Сименса и Гальске с зеркальным отчетом по шкале до 3 вольт (1 деление = 0,02 вольта) с точностью до 0,002 вольта. Внутреннее сопротивление вольтметра равнялось 1000 омам. Шкала его была предварительно тщательно поверена на компенсационном приборе. В качестве разрядных сопротивлений применялись образцовые катушки сопротивления по 10 омов, а также специально изготовленные сопротивления, из манганиновой проволоки по 10 и 7 омов, точные величины которых тоже были определены при помощи компенсационного прибора. Электродвижущие силы батарей, превосходившие 3 вольта, определялись непосредственно компенсационным прибором с делителем напряжения с сопротивлением в 1000 омов, равным сопротивлению вольтметра. Напряжение же батарей, замкнутых на разрядное сопротивление, состоявшее из двух или трех последовательно соединенных образцовых катушек сопротивления, бралось от концов одной из последних, измерялось вольтметром и затем соответственно умножалось на 2 или 3. Отчеты напряжения для вычисления сил токов и, далее, ампер-часовой емкости производились немедленно после включения элементов и батарей, затем через один час и 8 часов от момента включения в первые сутки и далее по одному разу в день во все последующее время, до падения напря-

Т а б л и ц а II.

Тип элемента или батареи или их №	Экстремальная сила в вольтах	Разрядное сопротивление в омах	Напряжение в вольтах		Сила тока в ампе- рах		Внутреннее со- противление в омах		Продолжительность включения в часах	Емкость в ампер-часах	Емкость отдельного элемента на 1 кг веса	Емкость отдельного элемента на 1 куб. см	П Р И М Е Ч А Н И Е
			Началь- ное	Конеч- ное	Началь- ная	Конеч- ная	Началь- ное	Конеч- ное					
А	1,522	10	1,49	0,7	0,149	0,070	—	—	307	27,4	21,9	38,0	Среднее из данных для 5 элементов. То же.
	1,522	10	1,49	0,9	0,149	0,090	0,14	0,34	151,8	10,06	12,8	22,7	
	1,527	7	1,488	0,9	0,2132	0,1290	0,18	0,45	117,3	18,19	14,6	25,7	
Б	1,503	10	1,489	0,7	0,1443	0,070	—	—	128,9	12,08	20,1	32,0	Среднее из данных для 3 элементов. То же.
	1,503	10	1,489	0,9	0,1443	0,090	0,09	1,2	62,7	6,89	11,4	18,1	
	1,509	7	1,464	0,9	0,2066	0,1270	0,22	0,60	45,2	4,84	11,4	18,1	
№ 5	1,430	10	1,396	0,9	0,1400	0,0902	0,24	0,27	277	30,10	16,7	30,3	* Средние из приве- денных данных для ем- костей трех батарей.
	1,492	7	1,446	0,9	0,2040	0,1270	0,23	0,49	159	24,51	13,6	24,7	
	4,470	30	4,138	2,7	0,1379	0,090	2,4	—	226,4	23,72	13,3	24,0	
№ 1	4,770	20	4,295	2,7	0,2113	0,1350	2,6	4,0	123,5	19,92	—	—	** Средние из приве- денных данных для ем- костей двух батарей.
	4,957	20	4,318	2,7	0,2150	0,1350	1,6	2,1	153,9	24,78	11,6*	20,9*	
	4,510	20	4,058	2,7	0,2034	0,1150	2,2	3,5	110	17,39	—	—	
№ 2	4,463	30	4,194	2,7	0,1401	0,0902	0,63	1,0	129,3	14,11	11,5	17,4	** Средние из приве- денных данных для ем- костей двух батарей.
	4,570	20	4,124	2,7	0,2082	0,1350	2,2	3,7	84,2	13,41	—	—	
	4,210	20	3,904	2,7	0,1956	0,1353	1,56	3,04	97,3	13,69	11,0**	16,7**	
№ 3 водо- наливная	4,365	30	4,201	2,7	0,1400	0,090	2,4	3,0	188,8	17,29	12,4	20,8	

Э л е м е н т ы

Б а т а р е и

жения до 0,9 вольта на элемент или до 2,7 вольта для батареи. Емкость вычислялась путем суммирования произведений из средней силы тока между двумя последовательными отсчетами напряжения на промежуток времени между ними, что дает величину меньшую (по моим подсчетам от 7 до 12%), но гораздо более близкую к действительной, чем вычисление емкости множением средней силы тока за весь период разряда на величину этого периода, вследствие довольно быстрого падения кривой напряжения в первое время после замыкания элемента, и в особенности в первый час. Определение момента падения напряжения до 0,9 вольта делалось путем интерполирования времени между двумя последовательными отсчетами напряжения большего и меньшего предельного. Внутреннее сопротивление элементов и батарей вычислялось по падению напряжения по формуле $W = \frac{E-V}{V} r$, где E —электродвижущая сила, а V —напряжение на зажимах замкнутого на внешнее сопротивление r элемента.

В той же таблице II приведены для сравнения и средние данные для элементов A и B при непрерывном разряде до 0,7 вольта через 10 омов, для каковых условий ЦЭС'ом устанавливается норма емкости 20 и 11 ампер-часов.

Из рассмотрения данных приведенной таблицы можно прийти к заключению, что разрядное сопротивление в 7 омов на элемент или 20 омов на батарею не является слишком малым в отношении продолжительности разряда. Последняя, в зависимости от элементов, колеблется между 117,3 и 159 часами, за исключением лишь элементов B и батарей № 2, которые вообще из-за малой емкости следует признать непригодными для батарей накала. Этот срок от 5 до 7 суток является вполне достаточным для более или менее точного построения кривой разряда при вышеуказанной частоте отчетов и соответствовал бы своей продолжительности предположенному ЦЭС'ом сроку испытания B элементов при разрядке через 10 омов до 67 вольта. Срок же испытания при разряде батарей через 30 омов, не говоря уже о меньшем соответствии этого режима максимальному режиму батарей накала, затягивается до 226—277 часов, т. е. от 10 до 12 суток, не давая никаких существенных преимуществ.

Что касается вышеупомянутой батареи № 2, которая по своим внешним размерам почти равна водоналивной батарее № 3, но дает значительно меньшую емкость, то это обстоятельство объясняется тем, что элементы батарей № 2, имея цинковые коробки цилиндрической формы, обладают меньшим объемом, чем элементы водоналивной батареи призматической формы. При собирании цилиндрических элементов в батарею их вставляют в призматические картонные оболочки, заполняя свободное пространство опилками, в виду чего не весь объем батареи может быть полностью использован. По этой же причине емкость одного элемента этой батареи на 1 куб. дм объема, а также на 1 кг веса значительно меньше, чем у других. Обращает на себя внимание абсолютная и относительная емкость элемента A при разряде через 7 омов, превышающая величину той же емкости при разряде через 10 омов. Это объясняется тем, что последняя величина представляет собою среднюю для 5 элементов, а первая—для единичного исследования только что изготовленного элемента, в виду чего она не может считаться нормальной емкостью для типа A , каковая, равно как и продолжительность разряда, будет на самом деле меньше. Поэтому наиболее пригодными для составления батарей накала следовало бы признать элемент № 5 и составленную из этих элементов батарею № 1, как дающие наибольшую абсолютную и относительную по весу и объему емкость. Абсолютную емкость при непрерывном разряде через 20 омов можно принять не менее 20 ампер-часов.

Водоналивная батарея, значительно уступая батарее № 1 в абсолютной емкости, является менее выгодной и по относительной, — к весу и объему. Таким образом, из существующих в продаже радиобатарей типа А подлежало бы остановиться на батарее № 1, для каковой и выработать технические условия.

При этом следует еще заметить, что батарея № 3 разряжалась через 30 омов, а при разряде через 20 омов ее емкость будет значительно меньше, примерно около 15 ампер-часов.

Глава III. Испытание анодных батарей.

Как уже было выяснено выше, для испытания анодных цепей катодных ламп типа P5 требуется напряжение от 70—90 вольт, а для ламп микро—35—45 вольт при силе анодного тока около 3 миллиампер для обеих ламп. В соответствии с этими требованиями теми же заводами, а также заводом б. Гелезен, выпускаются радио-батареи указанных в таблице III типов, в которой указаны также вес и размеры этих батарей и отдельных частей их. В этой же таблице приведены данные, касающиеся элемента В ($32 \times 32 \times 75$ мм)—предположенного ЦЭС'ом к стандартизации, как элемента пригодного для составления анодных батарей большей емкости.

Таким образом, для функционирования катодных ламп P5 необходимо, за исключением батареи № 4, последовательное включение: при пользовании №№ 1 и 3—двух батарей, № 1а—трех, при употреблении же №№ 2, 5 и 6—четыре батарей и № 1б—шести и наконец № 1в—девяти.

Т а б л и ц а III.

№ батареи и указанное напряжение ее в вольтах	Число элементов	Размеры в мм	Объем в куб. см	Вес в г	Форма отдельных элементов	Размеры цинковой коробки элементов в мм	Толщина цинка в мм	Диаметр и длина угля в мм
№ 1 45 вольт	30	250×80×80	1600	2400	призматич.	24×24×55	0,25	6,57
№ 1а 30 "	20	250×80×58	1160	1532	"	"	0,3	6,57
№ 1б 15 "	10	250×80×30	600	812	"	"	"	6,57
№ 1в 9 "	6	152×80×29	352,6	490	"	"	"	6,57
№ 2 21 "	14	280×85×100	2380	3830	"	39×39×78	0,6	8,85
№ 3 45 "	32	185×100×90	1665	1400	цилиндрич.	13,53	0,6	6,57
№ 4 80 "	60	222×105×93	2148,3	3700	"	13,53	"	6,57
№ 5 21 "	14	220×135×115	3415,5	4500	призматич.	36×36×84	1,0	9,93
№ 6 21 "	14	175×105×98	1784	2250	"	29×29×66	0,75	9,70
Элемент В	1	32×32×75	76,8	127,5	"	30×30×62	0,5	8,70

Для ламп микро эти числа уменьшаются вдвое. Как уже можно судить по внешним размерам и весу батарей, №№ 1, 1а, 1б, 1в, 3 и 4 представляют собою батареи малой емкости, №№ 2, 4 и 5—значительно большей.

Для испытания батареи А, по тем же соображениям, что и для батарей накала, был применен непрерывный разряд через постоянное сопротивление. Последнее для батарей малой емкости подбиралось так, чтобы оно приблизительно соответствовало действительному режиму батарей во время их службы. Так как, по вышеприведенным данным, даже при включении до трех ламп анодный ток должен быть около 3 миллиампер при минимальном напряжении (для лампы P5) в 70 вольт, то разрядное сопро-

тивление должно быть порядка 23000 омов или за округлением, 20000 омов, что составляет по 5000 омов на блок из 15 или 14 элементов, при начальной силе тока около 4,5 миллиампера, при чем разряд должен продолжаться до падения напряжения до 17,5—17 вольт на блок. Это вполне соответствует американским правилам испытания радио-батарей А, из которых стандартизирован ¹⁾ только один тип из 15 элементов на 22,5 вольта двух различных размеров 86 × 65 × 52 мм емкостью около 0,3 ампер-часов и 168 × 76 × 102 мм емкостью до 3 ампер-часов. Эти батареи ставятся на непрерывный разряд через сопротивление в 5000 омов до падения напряжения до 17 вольт.

Емкость их точно не указывается, но дается минимальное число часов разряда: 75 часов—для первой и 760 часов—для второй, так что величину емкости можно приблизительно установить по средней силе тока и продолжительности разряда.

Однако, принимая во внимание возможную большую длительность такого испытания при начальной силе тока в 4,5 миллиампера для наиболее ходовых батарей № 1, значительно превосходящих своими размерами американские батареи малой емкости, я произвел параллельное испытание их разрядом через 5000 омов на батарею, т.е. током вдвое большим, при начальной силе его около 9 миллиампер. Такими же двумя разрядными токами я испытывал две группы по три последовательно соединенных элемента В, оставляя испытание только одним начальным током в 4,5 миллиампера для батарей самой малой емкости №№ 3 и 4, а также для батарей №№ 1а, 1б и 1в. Большая часть испытаний производилась до падения напряжения до 17,5 вольта на блок в 15 элементов, т.е. до 1,17 вольта на элемент. Что касается батарей большей емкости №№ 2, 5 и 6, изготовленных по особому ведомственному заказу, то в виду требований ведомства постановки весьма короткого испытания, они были подвергнуты разряду через 1000 омов на батарею из 14 элементов, т.е. током в 5 раз большим обычного, что значительно сокращая время испытания и позволяя произвести сравнительную оценку выносливости батарей, не дает однако правильного представления об их емкости в условиях обычного режима.

Определение электродвижущей силы батарей, а равно напряжения на зажимах при замкнутой на разрядное сопротивление цепи, производилось компенсационным прибором через делитель напряжения 1 × 1000, при чем батарея на время отчетов замыкалась на 100000 омов. Вообще для измерения напряжений этих батарей американскими правилами испытания рекомендуется употреблять вольтметры с сопротивлением не менее 50000 омов. Отчеты напряжений для батарей самой малой емкости (№№ 3 и 4) необходимо делать в первые сутки их разряда три раза, а в последующие—по два раза. Для всех остальных батарей эти отчеты достаточно делать один раз в сутки, за исключением первого дня, когда требуются те же три отчета, как и для батарей накала: немедленно по включении, через 1 час и через 8 часов от момента включения. Приведенная в таблице IV емкость батарей вычислялась так же, как и для батарей накала. Тем же методом определялось и внутреннее сопротивление батарей. Для батарей №№ 2, 5 и 6 приведены также данные для разряда их до 12 вольт, при чем следует заметить, что до этого напряжения, даже при вышеупомянутом форсированном режиме испытания, батареи №№ 2 и 6 давали плавное падение кривой напряжения, и после испытания восстанавливались, обнаруживая еще через 8 месяцев электродвижущую силу в 18,6 и 19,5 вольта, т.е. 1,3—1,4 вольта на элемент.

¹⁾ См. Circular of the Bureau of Standards № 139.

Таблица IV.

№ батареи и указанное на- пряжение ее в вольтах	Электродвижущая сила в вольтах	Разрядное сопротивле- ние в омах	Напряжение в вольтах		Сила тока в ампе- рах		Внутреннее со- противление в омах		Продолжительность включения в часах	Емкость отдельного элемента на 1 кг веса	Емкость отдельного элемента на куб. см объема	ПРИМЕЧАНИЕ
			Началь- ное	Конеч- ное	Началь- ная	Конеч- ная	Началь- ное	Конеч- ное				
№ 1 45 вольт	46,33	5000	45,65	35,0	0,00213	0,00700	74,2	190,8	50,6	0,43	—	Среднее из данных для трех батарей
	45,58	5000	45,33	35,0	0,00207	0,00700	60,7	103,4	60,5	0,46	—	
	40,46	10000	45,98	35,0	0,00460	0,00350	104,4	154,3	166,9	0,62	8,0	
№ 1а 30 вольт	45,64	10000	45,46	35,0	0,00445	0,00350	89,6	122,9	168,6	0,64	8,0	12,0
	29,52	6667	29,25	23,38	0,00439	0,00350	52,4	87,8	227,9	0,87	11,2	15,6
	14,55	3333	14,45	14,70	0,00433	0,00350	23,1	62,7	165,5	0,75	9,3	11,5
№ 1в 9 "	8,86	2000	8,76	7,00	0,00432	0,00350	28,1	40,6	179,7	0,68	8,3	11,6
	21,15	1000	20,79	17,0	0,02079	0,0170	14,0	—	82	1,52	5,5	8,9
№ 2 21 "	—	—	"	12,0	"	0,0120	"	93,3	286,1	4,42	—	—
	47,68	10000	47,23	35,0	0,00403	0,00350	84,7	210,2	78,5	0,31	7,1	6,0
№ 3 45 "	90,67	20000	90,22	76,0	0,00451	0,00350	99,8	311,8	53,8	0,21	4,7	5,9
	21,08	1000	20,79	17,0	0,02079	0,0170	14,0	—	130	2,44	7,6	10
№ 4 80 "	—	—	"	13,0	"	0,0130	"	93,3	308,7	4,92	—	—
	30,82	1000	30,33	17,0	0,02038	0,0170	23,9	—	39	0,64	4,0	5,1
№ 5 21 "	—	—	"	12,0	"	0,0120	"	192,4	81,2	1,30	—	—
	—	—	"	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Блок из 3 эле- ментов В	4,52	500	4,46	3,50	0,00392	0,00700	6,6	13,3	166,5	1,26	6,9	16,4
	4,57	1000	4,54	3,50	0,00454	0,00350	6,7	17,3	802,5	2,19	—	—

При сопоставлении результатов испытания, помещенных в этой таблице, с данными таблицы III в отношении размеров и веса батарей надлежало бы признать наиболее целесообразным стандартизировать два типа батарей А—малой емкости (А1) (менее 1 ампер-часа) и большей емкости (А2).

Для первого типа более удобными представляются батареи из 30 элементов по 45 вольт для последовательного включения двух батарей на лампу Р5, так как батарея на 80 вольт при малой емкости представляется, во-первых, слишком громоздкой, во-вторых, в случае неисправности одной 45-вольтовой батареи, она легче в экономическом смысле может быть сменена, чем 80-вольтовая, и наконец, для микро-ламп достаточно только одной 45-вольтовой батареи.

Испытание этих батарей лучше делать непрерывным разрядом через 10000 омов, чем через 5000 омов, так как продолжительность разряда через первое сопротивление (для 80-вольтовой нужно брать 20000 омов) не превышает 170 часов, т.е. 7 суток—срок вполне приемлемый для приемочных испытаний, тем более, что при этом режиме, более подходящем к действительному режиму батарей во время их службы, емкость полузачается, примерно, в 1,4 раза более, чем при разряде через 5000 омов.

При сравнении качества батарей № 1 и батарей №№ 3 и 4 приходится отдать предпочтение первым, так как емкость вторых черезчур мала вообще, а кроме того отношение емкости к весу и объему одного элемента для батарей № 1 значительно выше, чем для вторых. Сравнительно малая емкость последних по отношению к объему батарей вызывается цилиндрической формой элементов, при каковой недостаточно хорошо может быть использован весь объем батареи.

Однако, здесь же надлежит отметить существенный недостаток изготавливаемых ныне батарей № 1—это слишком малая толщина цинковых коробок элементов (0,25 мм), вследствие чего батареи крайне недолговечны. Действительно, из 6 батарей, бывших на испытании, две, даже не подвергавшиеся замыканию, оказались снаружи промокшими и через два месяца совершенно негодными к употреблению, а третья, разряжавшаяся до 35 вольт через 5000 омов, протекла уже через месяц, причем по вскрытии батарей почти все цинки оказались разъеденными.

Сам завод гарантирует лишь месячный срок годности их, однако, учитывая этот недостаток, он увеличил в батареях позднейшего изготовления №№ 1, 1а, 1б и 1в толщину цинка до 0,3 мм. Это увеличение толщины цинка элементов хотя бы до указанных пределов совершенно необходимо, тем более, что запаса емкости их хватило бы на три месяца при трехчасовой ежедневной работе. Необходима также и более тщательная изоляция цинковых коробок друг от друга и от картонной оболочки, служащей дном батарей, иначе разъедание хотя бы одного элемента приведет к распространению выделяющихся из него жидкости и солей на соседние коробки, что вызовет местные токи короткого замыкания между элементами и приведет к быстрому разрушению всей батареи.

В виду этого представлялось бы желательным заключение каждого элемента хотя бы в тонкую картонную парафинированную оболочку, а не отделение цинковых коробок элементов друг от друга лишь тонкими картонными парафинированными перегородками с общим для всех цинковых коробок картонным дном оболочки всей батареи. При соблюдении этих условий срок годности их значительно возрастет и емкость будет не менее 0,6 ампер-часа при непрерывном разряде через 5000 омов на блок в 15 элементов до напряжения 0,7 вольта на элемент. Действительно, испытание батарей с увеличенной до 0,3 мм толщиной цинка на саморазряд дало такие результаты (Таблица V).

Таблица V.

№ батареи	Электродвижущая сила в вольтах							
	Началь- ная	Через 2 дня	Через 4 дня	Через 6 дней	Через 8 дней	Через 10 дней	Через 20 дней	Через 30 дней
№ 1	44,20	44,12	44,02	43,92	43,82	43,72	43,55	—
№ 1а	30,55	29,43	29,28	29,19	29,10	29,04	28,26	28,43
№ 1б	14,83	14,76	14,70	14,64	14,58	14,54	14,42	13,88
	14,86	14,82	14,79	14,73	14,69	14,64	14,56	—
№ 1в	8,90	8,88	8,86	8,83	8,81	8,77	8,74	—

Эти данные, устанавливающие падение напряжения менее, чем на 2% за 10 суток, гарантируют значительно больший срок их годности, чем батарей № 1 с толщиной цинка в 0,25 мм иногда саморазряжавшихся, по отзывам приемщиков, до нуля в течение 2 недель.

Что касается батарей А большей емкости, то наилучшие результаты в отношении как абсолютной, так и относительной емкости дали батареи № 5, составленные из 14 элементов размером $36 \times 36 \times 84$ при толщине цинковых коробок в 1 мм, причем каждая коробочка была заключена еще в тонкую картонную оболочку. К сожалению, примененный к ним форсированный разряд не дает судить о точной величине их емкости, соответствующей правильному режиму. Последнюю можно приблизительно оценить не менее, чем в 3,5 ампер-часов.

Однако, проще всего было бы для составления этих батарей применение весьма ходового элемента типа В размером в $32 \times 32 \times 75$ мм предположенного ЦЭС'ом к стандартизации, что дало бы хотя меньшую емкость (около 2,2 ампер-часов), за то внесло бы полное единообразие в изготовление батарей А большей емкости. При этом следует заметить, что емкость таких батарей по отношению к объему и весу отдельных элементов является в достаточной степени высокой.

По поводу испытания батарей большей емкости вообще следует заметить, что применение к ним такого же режима разряда, как и для батарей малой емкости, т. е. разряда через 5000 омов на блок в 15 элементов, затянуло бы приемочные испытания на чересчур долгий срок — по данным таблицы IV — свыше 25 дней. Поэтому эти батареи, для сокращения срока испытания, надлежит испытывать непрерывным разрядом при вдвое большей начальной силе тока — порядка 9 миллиампер — т. е. через сопротивление в 2500 омов, чтобы продолжительность испытания не превышала 7—8 дней. Емкость батареи из элементов В при этом режиме можно оценивать в 1,3 ампер-часа.

Одним из наиболее существенных вопросов при стандартизации анодных батарей является вопрос о числе элементов входящих в блок. Отмеченные уже недостатки, в особенности батарей малой емкости при большом числе элементов, ведущие к гибели всей батареи в случае протекания хотя бы одного из элементов блока, уже породили на заводах тенденцию к уменьшению числа элементов в блоке (батареи 1а и 1б) до 20 и 10. Американские нормы устанавливают 15 элементов в блоке.

Однако, принимая во внимание возможные дефекты как в отношении чистоты химических продуктов, входящих в элементы, так и в отношении недостаточной изоляции отдельных элементов друг от друга, вызывающие быстрое изнашивание батарей, было бы более рационально пойти еще

далее в отношении уменьшения числа элементов в блоке до 6. Такие блоки, в случае негодности одного элемента, экономически сравнительно легко могли бы сменяться или дополняться, когда будет требоваться некоторое повышение напряжения уже несколько поработавших блоков. Дальнейшее дробление было бы вряд ли удобно. За блок в 6 элементов с электродвижущей силой в 9 вольт говорит и то обстоятельство, что они могут служить для новых двухсеточных микро-ламп, требующих всего лишь 6—8 вольт напряжения. Для обыкновенных микро-ламп таких блоков потребовалось бы пять, а для ламп P5—9 или 10. Входящие в такие блоки элементы следует располагать все в один ряд для лучшей изоляции друг от друга и получения меньшего напряжения между соседними элементами.

Итак, по выше приведенным соображениям, наиболее целесообразной представлялась бы стандартизация анодных батарей в виде блоков из 6 расположенных в ряд элементов размером: для батарей А 1— $24 \times 24 \times 60$ мм и для батарей А 2— $32 \times 32 \times 75$ мм (элемент В) и испытание непрерывным разрядом производить для первых батарей через сопротивление в 2000 омов, а для вторых—в 1000 омов. При этом, чтобы не стеснять заводы слишком тесными рамками в отношении размеров отдельных элементов, в технических условиях может быть следовало бы указать как для анодных батарей, так и для батарей накала, лишь внешние размеры оболочек с возможными от них отступлениями.

Глава IV. Испытание изоляции радио-батарей.

Весьма важным фактором, немало способствующим увеличению срока службы радио-батарей как накала, так и в особенности анодных, является достаточно надежная изоляция элементов друг от друга внутри самой батареи, а также изоляция оболочек батарей. На это обстоятельство уже было обращено внимание в главе III. В виду того, что этот вопрос представляется совершенно не обследованным как в нашей, так и в заграничной литературе, даже в отношении порядка величины этих сопротивлений, интересно было произвести серию измерений изоляции как отдельных элементов из числа предположенных ЦЭС'ом к стандартизации, так и радио-батарей накала и анодных для определения минимальной допустимой техническими условиями степени их изоляции. Для этого были взяты на пробу различные их экземпляры: вполне пригодные к употреблению, частично израсходованные и уже негодные, различного срока изготовления.

Согласно немецким правилам испытания степени изоляции установочных материалов¹⁾ а также правилам, выработанным на тот же предмет ЦЭС'ом, изоляция этих материалов измеряется после 24 часового пребывания в атмосфере насыщенных водяных паров, т. е. при 100% влажности. В виду этого решено было подвергнуть такому же испытанию и элементы и радио-батарей, тем более, что при установке последних на суда они могут оказаться в атмосферных условиях близких к такой влажности. Для определения влияния влажности на степень изоляции испытуемых элементов и батарей, предварительно измерялась их изоляция в естественном состоянии при обыкновенной влажности помещения лаборатории (очень низкой—27%), а затем они уже помещались в шкаф размером $40 \times 55 \times 55$ см с двойными железными стенками и двойной стеклянной дверцей, обычно служивший термостатом для испытания счетчиков при повышенной температуре, благодаря нагреванию шкафа током, проходящим по проволочным спиральям между его стенками. На дно шкафа ставилась большая ванна

¹⁾ Vorschriftenbuch des Verbandes Deutscher Electrotechniker 1925.

с водой, которая покрывалась металлической сеткой, и на нее ставились элементы и батареи. Стены шкафа обвешивались мокрыми тряпками, концы которых погружались в ванну.

Однако, при этих условиях полного насыщения парами не удавалось получить и не смотря на то, что по истечении 24 часов тряпки были достаточно влажны, помещенный внутри шкафа гигрометр Rodenstock'a показал лишь 80% влажности.

Для получения полного насыщения пришлось предварительно заклеймить щели у дверцы шкафа изоляционной лентой и затем подогреть шкаф в течение часа до 40°C, после чего получавшиеся при этой температуре пары переходили в насыщенное состояние при обычной температуре лаборатории 20°C.

Самое измерение степени изоляции, производилось „меггером“, дававшим напряжение в 400 вольт с пределами измерения от 5000 омов до 40 мегомов, для чего элементы и батареи ставились на тонкий слой влажного песка, насыпанного на металлический лист, присоединяемый к одному зажиму меггера, другой зажим которого приключался к одному из зажимов элемента или батареи. Для каждого элемента и батареи делалось два отчета: при соприкосновении их с металлическим листом, во-первых, — дном и во-вторых, — боковой поверхностью, в виду различной степени изоляции этих частей оболочек. Конечно, при таком способе измерений возможно было определить лишь степень изоляции оболочек радио-батарей, а не изоляцию отдельных элементов друг от друга, для чего требовалось бы вскрывать батареи, раскалывать заливку и разъединять элементы, однако, имея в виду приемочные испытания, при которых такое разрушение батарей недопустимо в большом количестве, я ограничился лишь испытанием степени изоляции оболочек.

Данные этих испытаний помещены в таблице VI.

Таблица VI.

Элемент или батарея	Время изготов- ления	Электродви- жущая сила в вольтах	Сопротивление оболочки в мегомах			
			В нормальном состоянии		После 24 часового пребы- вания в атмосфере насы- щенных водяных паров	
			Дно	Боковая поверхн.	Дно	Боковая поверхн.
Элемент А		1,32	> 40	> 40	0,4	0,35
„ Б	12/xi—1925	1,02	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
„ № 5		1,34	> 40	> 40	30	30
„ В	6/i—1926	1,08	> 40	> 40	7	7
„ В		1,03	0,25	0,3	0,2	0,3
Батарея Н № 1	31/0—1925	3,60	> 40	> 40	0,6	0,7
„ Н № 2	0/xii—1925	3,71	10	9	< 0,005	0,005
„ А № 1	30/x—1925	0,6	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
„ А № 1		41,87	> 40	> 40	4	3,5
„ А № 1а		25,45	> 40	> 40	0,05	0,05
„ А № 1б		0/i—1926	12,08	> 40	> 40	3
„ А № 3	18/xi—1925	0,3	15	35	2,8	15

Как видно из приведенных данных, изоляция оболочек отдельных элементов и батарей в обыкновенных условиях выражается десятками мегомов, в большинстве случаев более 40 мегомов. Лишь для некоторых явно

неудовлетворительных экземпляров эта изоляция составляет доли мегома, опускаясь даже ниже 5000 омов, как, например, для совершенно протекшей батареи А № 1 с электродвижущей силой 0,6 вольта или для элемента В, по наружному виду, однако, не имевшего следов протекания и обладавшего электродвижущей силой несколько большей 1 вольта.

После же суточного пребывания их в атмосфере насыщенных водяных паров степень изоляции резко падает. Так из 12 испытанных экземпляров лишь для элемента № 5 она удерживается около 30 мегомов, для четырех колеблется в пределах от 2,8 до 7 мегомов, а для остальных семи экземпляров падает до долей мегома. Следует заметить, что элементы и батареи исследовались на изоляцию немедленно по мере вынимания их из шкафа, пока они были еще влажны, и оболочка их не обтиралась, так что в несовершенстве изоляции в большинстве случаев играли роль, главным образом, ползучие поверхностные токи, на что указывало значительное возрастание сопротивления при повторном испытании уже спустя 30 минут после того, как они были вынуты из шкафа.

После же трех суток пребывания элементов и батарей в сухом помещении лаборатории, для сопротивления оболочки получились почти те же цифры, какие приведены в 4-м и 5-м столбцах таблицы VI. Однако, принимая во внимание, что лучшие экземпляры элементов и батарей, даже немедленно после суточного пребывания в атмосфере насыщенных паров, дают для сопротивления оболочек величины более 1 мегома, надлежало бы эту величину в 1 мегом принять за минимально допустимую техническими условиями при испытании на влияние влажности на изоляцию оболочек, но не менее 20 мегом для сопротивления изоляции в нормальном состоянии.

Глава V. Влияние температуры на саморазряд и емкость радиобатарей.

Имея в виду обслуживание радиобатареями также и южных районов СССР, где температура летом доходит до 50°С, как например, на Кавказе и в Туркестане, необходимо было выяснить степень пригодности в условиях повышенной температуры, как в отношении тугоплавкости изолирующей заливки, так и со стороны изменения электрических свойств и прежде всего саморазряда батарей, в особенности анодных. При этом попутно, помимо батарей, желательно было исследовать в тех же условиях и предположенные ЦЭС'ом к стандартизации элементы А, Б и В.

В американских правилах испытания заливки элементов и батарей на нагрев в качестве стандартной устанавливается температура в 45°С, при суточном пребывании в которой заливка не должна течь. Испытания электрических свойств батарей при повышенной температуре эти правила не предусматривают. В соответствии с этим и исходя из приблизительных данных климатических условий вышеуказанных районов, я остановился на температуре в 45°С. Для испытания был взят двойной комплект элементов: А, Б, (сухой), Б_н (наливной), В и батарей №№ 1, 1б и 1в одного и того же времени изготовления.

Один комплект был установлен в вышеупомянутый шкаф — термостат, где непрерывно в течение 10 суток поддерживалась температура около 45°С с колебаниями $\pm 0,5^\circ\text{C}$, второй же комплект в качестве контрольного находился при температуре лаборатории, в среднем, около 20°С. Помимо наблюдения над плавкостью заливки производилось исследование первого и второго комплектов на саморазряд в течение 10 суток. Уже испытание в течение первых суток показало полную непригодность заливки при такой температуре. Батареи очень сильно распучило, заливка стала пузыриться

Таблица VII

Элемент или батарея	Электродвижущая сила в вольтах												Процент падения за 24 часа при 20°С	
	Начальная при 20°С	Через 1 час	Через 1 сутки	Через 2 суток	Через 3 суток	Через 4 суток	Через 5 суток	Через 6 суток	Через 7 суток	Через 8 суток	Через 9 суток	Через 10 суток		
												при 45°С		при 20°С
Батарея № 1 при 45°С	44,21	44,23	44,20	43,94	43,80	43,70	43,63	43,59	43,56	43,53	43,49	43,43	43,24	2,2
" № 1 " 20°С	44,20	—	44,19	44,12	44,07	44,02	43,97	43,92	43,88	43,82	43,77	—	43,72	1,1
" № 16 " 45°С	14,44	14,50	14,65	14,58	14,55	14,53	14,52	14,51	14,50	14,50	14,50	14,50	14,46	-0,14
" № 16 " 20°С	14,80	—	14,85	14,82	14,80	14,79	14,76	14,73	14,71	14,69	14,67	—	14,64	1,5
" № 1а " 45°С	8,13	8,09	8,94	8,87	8,83	8,80	8,79	8,77	8,76	8,76	8,76	8,76	8,73	4,4
" № 1а " 20°С	8,90	—	8,89	8,88	8,87	8,86	8,85	8,83	8,81	8,81	8,79	—	8,77	1,5
Элемент А при 45°С	1,482	1,493	1,492	1,482	1,476	1,468	1,464	1,458	1,458	1,458	1,455	1,450	1,430	3,5
" " 20°С	1,496	—	1,496	1,492	1,490	1,490	1,488	1,486	1,484	1,482	1,482	—	1,482	0,9
" Б _а " 45°С	1,482	1,484	1,482	1,468	1,464	1,460	1,458	1,452	1,450	1,448	1,448	1,446	1,422	3,0
" " 20°С	1,482	—	1,482	1,480	1,480	1,478	1,472	1,472	1,468	1,468	1,466	—	1,464	1,2
" Б _в " 45°С	1,518	1,522	1,518	1,502	1,492	1,486	1,482	1,476	1,468	1,468	1,463	1,460	1,432	3,7
" " 20°С	1,502	—	1,488	1,480	1,474	1,464	1,466	1,460	1,458	1,458	1,455	—	1,452	3,3
" В " 45°С	1,448	1,460	1,448	1,436	1,428	1,422	1,420	1,414	1,414	1,410	1,406	1,406	1,364	5,8
" " 20°С	1,440	—	1,444	1,442	1,440	1,438	1,432	1,426	1,422	1,420	1,418	—	1,416	2,1

и местами течь как на батареях, так и на элементах, в особенности на № 1 и А. Также расплавился и стал подыматься вверх по картонной оболочке и изолирующий состав, которым покрывается дно элементов, образовав пятна до половины высоты элемента (В). У водоналивного элемента обнаружилось значительное выделение солей, выступивших наружу около закрытого пробкой отверстия для зарядки элемента.

Что касается саморазряда элементов и батарей при температуре в 45°C в течение 10 суток, то данные об этом содержатся в таблице VII, в которой приведены для сравнения и данные для второго контрольного комплекта, саморазрядившегося при обычной температуре лаборатории. Последние данные в части, касающейся батарей №№ 1, 1б и 1в, уже были приведены в таблице V.

Из рассмотрения данных этой таблицы явствует, что электродвижущая сила как батарей, так и отдельных элементов немного увеличивается с повышением температуры от 20° до 45°C . Исключение составляет лишь батарея № 1в, в которой отмечается небольшое уменьшение электродвижущей силы на $0,4\%$.

При понижении температуры с 45°C до 20°C во всех батареях и элементах наблюдается уменьшение электродвижущей силы, причем это падение при охлаждении значительно более возрастания ее при нагревании. Так первое колеблется в пределах $0,2\%$ — 3% , второе же в пределах $0,02\%$ — $0,9\%$.

Общее падение электродвижущей силы батарей и элементов, охлажденных до 20°C после 10-суточного нагревания, под влиянием саморазряда, в среднем, примерно вдвое больше, чем контрольных. В самом деле, нагревавшийся комплект дал падение от $2,2\%$ до $5,8\%$, контрольный же—от $0,9\%$ до $3,3\%$. Исключением является батарея № 1б, электродвижущая сила которой значительно повысившись в течение первых суток нагрева, оказалась спустя 10 суток нагревания и последующего охлаждения до 20°C все таки немного более первоначальной. Усиление саморазряда при повышении температуры обычно объясняется увеличением скорости химических реакций в элементе.

После испытания батарей и элементов на саморазряд при 45°C , над тем же комплектом через двое суток было начато испытание на емкость непрерывным разрядом при 45°C через соответствующие обычным испытаниям сопротивления. Последние находились вне термостата и, таким образом, влияние нагревания на них было исключено. Спустя двое суток после начала этого испытания, на разряд при нормальной температуре лаборатории был поставлен и контрольный комплект, подвергавшийся ранее саморазряду при той же нормальной температуре. Это параллельное испытание дало весьма интересные результаты в смысле чрезвычайно большого, в некоторых случаях почти вдвое, увеличения емкости при повышении температуры до 45°C .

Имеющиеся в литературе опытные данные влияния температуры на емкость элементов ¹⁾ указывают на возможность двух противоположных результатов в зависимости от режима разряда. Как общее правило, повышение температуры влечет за собою для одних и тех же элементов повышение емкости при сильных разрядных токах и понижение ее—при слабых. Первое может быть объяснено повышением электродвижущей силы и увеличением скорости химических реакций второе—увеличением саморазряда и большим высыханием элемента, что при длительном разряде слабыми токами будет превалировать над факторами увеличивающими емкость. Однако, при имевшем место параллельном испытании было заме-

¹⁾ Circular of the Bureau of Standards № 79, в также Cooper, Primary Batteries.

чено лишь возрастание емкости, и притом даже значительно большее, при слабых разрядных токах (для анодных радио-батарей), чем при более сильных (для отдельных элементов), по отношению к размерам элементов, токах (таблица VIII).

Таблица VIII.

Элемент или батарея	Электролитическая сила в вольтах	Разрядное сопротивление в омах	Напряжение в вольтах		Сила тока в амперах		Внутреннее сопротивление в омах		Продолжительность разряда в часах	Емкость в ампер-часах
			Начальн.	Конечн.	Начальн.	Конечн.	Начальн.	Конечн.		
Батарея № 1 при 45°C	43,30	10000	42,89	37,61	0,00428	0,00376	123,8	—	285,8	1,14
То же при 20°C	43,55	10000	43,20	35,00	0,00432	0,00350	81,0	171,4	193,5	0,75
Батарея № 1б при 45°C	14,30	3333	14,21	11,70	0,00426	0,00350	21,1	181,8	383,3	1,49
То же при 20°C	14,55	3333	14,45	11,70	0,00433	0,00350	23,1	62,7	195,5	0,75
Батарея № 1в при 45°C	8,86	2000	8,75	7,00	0,00438	0,00350	22,8	135,4	362,8	1,42
То же при 20°C	8,74	2000	8,64	7,00	0,00432	0,00350	23,1	40,6	179,7	0,68
Элемент А при 45°C	1,448	10	1,360	0,7	0,1362	0,0702	0,63	2,1	495	47,25
То же при 20°C	1,478	10	1,452	0,7	0,1454	0,0701	0,18	1,2	350	35,56
Элемент Бс при 45°C	1,442	10	1,360	0,7	0,1363	0,0701	0,60	2,4	210,2	21,47
То же при 20°C	1,460	10	1,422	0,7	0,1425	0,0702	0,27	1,5	149,8	14,28
Элемент Бн при 45°C	1,446	10	1,346	0,7	0,1349	0,0702	0,74	3,2	179,5	15,34
То же при 20°C	1,452	10	1,394	0,7	0,1387	0,0702	0,5	1,9	165,1	15,07
Элемент В при 45°C	1,406	10	1,255	0,7	0,1258	0,0701	1,2	2,7	17,8	1,67
То же при 20°C	1,400	10	1,340	0,7	0,1337	0,0698	0,5	1,8	11,7	1,10

Величина емкости батареи № 1 при 45°C, приведенная в таблице, значительно ниже действительной, так как разряд производился не до 35 вольт а лишь до 37,61 вольта. Это объясняется тем, что при дальнейшем разряде батареи, после последнего отчета напряжения, в ней произошел разрыв соединений между отдельными элементами, вероятно вследствие теплового расширения, и батарея на следующий день не давала никакого напряжения между крайними зажимами, обнаруживая его только между средним и крайним, в виду чего дальнейшее испытание пришлось прекратить. Батареи же №№ 1б и 1в прекрасно выдержали испытание на емкость при повышенной температуре в течение более 15 суток, дав, как уже было указано выше, увеличение емкости вдвое против величины ее при нормальной (19°—20°) температуре.

Увеличение емкости на 50%—100% дали и элементы Б_н, В и А. При этом надлежит отметить неудовлетворительность элементов В, давших при разряде через 10 омов емкости 1,10 (при 20°C) и 1,67 (при 45°C) ампер-часа, т.е. ниже установленной для них ЦЭС'ом нормы в 1,75 ампер-часа.

Весьма малое увеличение емкости при нагревании отмечается у водоналивного элемента Б_н, что можно объяснить значительным его высыханием при повышенной температуре.

Резкое увеличение от 1 1/2 до 3 раз наблюдается и в отношении внутреннего сопротивления при повышении температуры во всех батареях и элементах без исключения, что следует приписать как высыханию электролита, так и увеличению поляризации.

В заключение можно констатировать, что при условии увеличения тугоплавкости заливки, которая при этой температуре оказалась слишком легко размягчающейся и текучей, эти батареи могут быть вполне применимы и в южных районах СССР, а также в сильно нагреваемых судовых помещениях.

Глава VI. Технические условия для радио-батарей.

Учитывая полученные данные в отношении изготавливаемых ныне батарей накала и анодных, можно ввести известную стандартизацию их путем установления технических условий, которым эти батареи должны удовлетворять.

Технические условия, предоставляя заводам полную свободу в отношении размеров составляющих батареи элементов сухих или наливных, а также химического состава электролита и агломерата последних, должны определять размеры самих батарей, их электрические свойства и вместе с тем порядок испытания и приемки их.

Имея это в виду и принимая во внимание разработанные ЦЭС¹⁾ом технические условия для отдельных элементов А, Б и В, приходим к ниже-следующим техническим условиям ¹⁾.

§ 1. Батареи из сухих или наливных элементов, применяемые в радиоприемниках, (радио-батарей) разделяются на два типа: Тип Н — батареи, служащие для накала нити электронных ламп, и тип А — батареи, включаемые в анодные цепи ламп. Батареи типа А, в свою очередь, подразделяются на два вида: А1 и А2, меньшей и большей емкости.

§ 2. Радио-батареи обоих типов состоят из последовательно соединенных между собой сухих или наливных элементов, заключенных в общую наружную оболочку.

Число элементов, а также внешние размеры блоков, не считая зажимов, составляют: для батарей Н три элемента, размер $245 \times 85 \times 165$ мм, для батарей А1 — шесть элементов, размер $148 \times 28 \times 75$ и для А2 батарей шесть элементов, размер $196 \times 36 \times 85$. Отступления от указанных размеров батарей допускаются только в сторону уменьшения не более 3 мм для длины и 1,5 мм для ширины и высоты.

§ 3. Степень изоляции наружной оболочки батарей, после 24-часового пребывания в атмосфере насыщенных водяных паров при температуре $15-20^\circ\text{C}$, должна быть не менее 1 мегама при измерении между зажимом батареи и металлическим листом, на котором помещается батарея дном или боковой поверхностью. Измерение изоляции батарей производится без обтирания их, немедленно по мере вынимания их из влажного помещения.

§ 4. Наружные оболочки батарей должны быть снабжены ярлыком, содержащим название завода, название и тип батарей, число элементов, номинальное напряжение и время изготовления.

§ 5. Цинковые электроды отдельных элементов должны иметь толщину стенок для батарей Н не менее 1,0 мм для батарей А1—0,3 мм, и для батарей А2—0,5 мм.

§ 6. Угольные электроды отдельных элементов должны быть пропитаны водонепроницаемым составом на протяжении части, выступающей над агломератом, но не менее 25 мм от конца — для батарей Н и 10 мм — для батарей А1 и А2.

§ 7. Последовательное соединение отдельных элементов в батареях производится посредством проводников из мягкой меди, диаметром не менее 1 мм — для батарей Н и не менее 0,5 мм — для батарей А. Проводники припаиваются к цинковой коробке и металлическому наконечнику, прочно посаженному на угольный электрод.

§ 8. Элементы, составляющие батареи, заливаются сверху изолирующим составом. Заливка должна плотно прилегать к наружной оболочке батареи, не должна колотиться и трескаться при температуре не ниже 0° , а также течь при 24 часовом испытании при температуре 45°C .

§ 9. Конечные электроды батарей присоединяются к латунным зажимам, выступающим из слоя заливки не выше 15 мм. Полярность зажимов должна быть обозначена знаками + и —.

§ 10. а) Электродвижущая сила батарей должна быть не ниже: для типа Н — 4,35 вольта и для типа А — 8,7 вольта. Измерения как электродвижущей силы, так и напряжения на зажимах замкнутых на разрядное сопротивление батарей производится для батарей Н вольтметром с сопротивлением не менее 80 ом на каждый вольт шкалы прибора, а для батарей А — вольтметром с сопротивлением не менее 1000 ом на вольт шкалы, или компенсационным прибором.

б) Начальная разрядная сила тока не должна быть менее: для батарей Н при внешнем сопротивлении в 20 ом — 195 миллиампер, для батарей А1 при внешнем сопротивлении в 2000 ом — 4,3 миллиампера, для батарей А2 при внешнем сопротивлении в 1000 ом — 8,5 миллиампера.

в) Разрядная емкость батарей, проверяемых непрерывным разрядом при температуре $15-20^\circ\text{C}$ через вышеуказанные сопротивления, должна быть не менее 20 ампер-

¹⁾ В окончательной редакции, принятой III секцией ЦЭС.

часов, для типа *H* до конечного напряжения в 2,7 вольт, не менее 0,6 ампер-часов, для типа *A1*—до конечного напряжения в 7 вольт и не менее 1,3 ампер-часа для типа *A2* до того же конечного напряжения. Емкость батарей должна определяться путем суммирования произведений из средней силы тока за промежутки времени между двумя последовательными отчетами напряжения на величину этого промежутка. Отчеты напряжения должны производиться для батарей всех типов в первый день разряда три раза: непосредственно после включения, через 1 час и через 8 часов от момента включения, а в последующие дни—один раз в сутки через 24 часа.

г) Батарей, не включенные в цепь, не должны обнаруживать падения электродвижущей силы более, чем на 2% при хранении в течение 10 дней при температуре 15—20°C.

§ 11. При испытании электрических свойств и хранении батарей не должно замечаться вытекания из них жидкости и выступления наружу солей; слой заливки не должен выпучиваться; при вскрытии батарей на наружных частях цинковых электродов, если они служат сосудами элементов, не должно быть выделения солей и жидкости, а равно не должно наблюдаться окисления металлического наконечника на угле.

§ 12. Приемочные испытания распадаются на три стадии:

а) все без исключения батареи из партии предъявленной к сдаче, подвергаются испытанию по п. а § 10, при чем все батареи, неудовлетворившие означенному испытанию, бракуются окончательно.

б) батарей, удовлетворившие требованиям предыдущего пункта, разбиваются на группы по 100 батарей в каждой; из каждой группы выбирается по две батареи, которые подвергаются наружному осмотру и обмеру в порядке §§ 2, 4 и 9, а также испытанием:

первая испытывается по п.п. б и в § 10 по §§ 11, 5, 6 и 7,

вторая—по §§ 3 и 8 в указанной последовательности перечисленных §§ для обеих батарей;

в) по истечении 10 суток со дня испытания батарей по п. а настоящего параграфа, все батареи, кроме прошедших стадию б., испытываются по пункту г § 10.

§ 13. Если из числа испытанных по п.п. б и в § 12 батарей, хотя бы одна не удовлетворила условиям испытания, результат испытания всей партии признается неудовлетворительным и партия бракуется. Поставщику предоставляется право забракованную партию рассортировать и ту часть, которая, по мнению поставщика, соответствует требуемым условиям, предложить еще раз для освидетельствования. При вторичном неудовлетворительном результате вся партия бракуется окончательно. Израсходованные при испытании батареи заменяются поставщиком бесплатно.

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ СМЕСЕЙ ДВУХ РАЗЛИЧНЫХ МАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ.

Н. И. Спиридович.

Магнитные измерения, целью которых является исследование магнитных свойств стали, как материала применяемого техникой для изготовления постоянных магнитов, на практике сводятся к наиболее существенным определениям максимальной и остаточной индукций и коэрцитивной силы, численные величины которых зависят от структурного строения различных сплавов железа и от их термической и механической обработки.

Сталь или сплав железа с углеродом и другими металлоидами и металлами имеет сложное внутреннее строение, зависящее не только от процентного содержания примесей, но и от способа соединения входящих в состав ее элементов, принимающего вид или химического соединения (карбид Fe_3C), или твердого раствора (мартенсит), или механической смеси (чугун, где часть углерода находится в виде механической примеси, графита, а часть в растворе).

При термической обработке сталь претерпевает ряд видоизменений, приобретая соответствующую структуру, а вместе с ней и определенные магнитные свойства.

Закалка дает возможность фиксировать структуру сплава в любой момент кристаллизации и закрепить имеющиеся при соответствующей температуре магнитные свойства стали.

Образующиеся при охлаждении стали и входящие в ее состав в виде смесей феррит или почти чистое железо и цементит, содержащий углерода до 6,67%, обладают магнитными свойствами, но ферриту присуща большая интенсивность намагничивания при меньшей коэрцитивной силе, а цементиту как раз обратное.

Для суждения о магнитных свойствах стали необходимо было бы знать:

- 1) Магнитные свойства ее структурных составляющих.
- 2) Как эти составляющие влияют на магнитные свойства всего целого.

В виду трудности подобного изучения магнитных свойств различных стальных сплавов давно явилась мысль упростить это изучение приготовлением искусственных смесей, которые бы до некоторой степени воспроизводили структуру стали.

Наблюдая явления намагничивания стали, проф. О. Д. Хвольсон ¹⁾ еще в 1876 г. высказал взгляд, что примесь частиц углерода должна противодействовать свободному вращению молекулярных магнетиков в железе, что он и ставил в связь с увеличением остаточного магнетизма стали по сравнению с железом.

¹⁾ О. Хвольсон, О механизме магнитной индукции в стали. 1876 г.

На сталь, как на смесь порошка чистого железа с каким-либо немагнитным телом, смотрели и другие исследователи.

Так Ауэрбах ¹⁾ брал для своих работ химически чистый порошок железа, смешанный с древесными опилками. Теплер ²⁾ смешивал железный порошок с салом, Бернштейн ³⁾ — с глиноземом и т. д.

В 1886 г. Кобылин и Терешин ⁴⁾ исследовали при помощи магнитометра смесь тонких железных опилок с углем в разных пропорциях и пришли к выводу, что остаточный магнетизм увеличивается с увеличением намагничивающей силы, при чем заметна некоторая пропорциональность, а примесь небольшого количества угля к железу дает остаточный магнетизм несколько больший, чем можно бы было ожидать.

Дальше будет видно, что углерод здесь не играет первенствующую роль, такие же результаты можно получить и при замене угля другим телом.

Вальтер Тренкле ⁵⁾ в работе: „О магнитном состоянии железных порошков различной плотности“, говорит о смеси железного порошка с бронзовым. Он придавал испытуемому телу при помощи стеклянной трубочки форму цилиндра с отношением длины к диаметру равным 10,24, чем уменьшал размагничивающее влияние формы образца, а однородность намагничивающего поля достигал троекратным увеличением длины соленоида. Его опыты показали, что при одинаковой магнитной восприимчивости испытуемого вещества, величина магнитного момента падает с уменьшением плотности, т. е. с уменьшением процентного содержания железа, и что величина насыщения для чистого железа больше, чем для смеси железа с немагнитным порошком. Не касаясь вопроса об остаточном магнетизме, Тренкле показал, что тело несплошное в отношении магнитного материала ведет себя при намагничивании иначе, чем сплошное.

Интерес представляет работа Штейнберга ⁶⁾, вышедшая в 1915 г. из физической лаборатории Харьковского Университета: „О намагничивании и коэрцитивной силе ферромагнитных порошков“. Автор сравнивал магнитные явления в железных порошках, имевших различную крупность зерна, а также в смесях порошков из магнитных и немагнитных тел. Он сделал заключение, что коэрцитивная сила магнитного порошка, смешанного с немагнитным, не только не уменьшается, а увеличивается.

Точно также в работе Нагаока ⁷⁾ говорится, что железные амальгамы, содержащие 2,3% железа в растворе, которые можно рассматривать как чистое железо в сильно раздробленном состоянии, обладают огромной коэрцитивной силой, до 370 гауссов.

Указанные работы, устанавливая связь коэрцитивной силы и остаточного магнетизма с введением в железные порошки немагнитных примесей, не могли ответить на поставленные выше вопросы, так как условия постановки опытов заключали в себе осложняющие наблюдение факторы,

¹⁾ F. Auerbach, Magnetische Untersuchungen, Ann. d. Phys. u. Chem. XI, 1860.

²⁾ A. Toepler, Messungen über diamagnetelektrische Inductionsströme, Ann. d. Phys. u. Chem. I, 1877.

³⁾ R. Börnstein, Über das Verhältnis des temporären Magnetismus zur magnetisierenden Kraft und seine Beziehungen zur Wechselwirkung der Metallflächchen, Ber. d. math. phys. Kl. d. K. Sächs. Ges. d. Wiss. 1874.

⁴⁾ Н. Кобылин и С. Терешин, О намагничивании смеси железа и угля, Журнал Русского Физико-Химического Общества, т. XVIII, 1886 г.

⁵⁾ Walter Trenkle, Über das magnetische Verhalten von-Eisenpulver verschiedener Dichte, Ann. d. Phys. u. Chem. IV, 1906.

⁶⁾ Д. С. Штейнберг, О намагничении и коэрцитивной силе ферромагнитных порошков, Журнал Русского Физико-Химического Общества, 1915 г. т. XVII в. 8.

⁷⁾ H. Nagaoke, Über verdünnte ferromagnetische Amalgame, Ann. d. Phys. u. Chem. IX, 1896.

как то: влияние отдельно стоящих друг от друга частиц или степень заполнения объема магнитным веществом и размагничивающее действие, связанное с формой и размерами частиц порошка. Только исключив по возможности факторы, сложным образом влияющие на проявление магнитных свойств, можно получить, хотя бы в первом приближении, картину влияния магнитных свойств отдельных составляющих на свойства всего целого.

В лаборатории постоянных магнитов Метрологического Института Главной Палаты мер и весов были произведены исследования магнитных свойств механических смесей двух магнитных материалов с различным содержанием углерода, при чем было выделено, как фактор, только процентное содержание каждого из компонентов смеси. Мною было произведено определение максимальной магнитной индукции, остаточного магнетизма и коэрцитивной силы в смесях, где к закаленной углеродистой стали примешивалось мягкое железо. Для исключения влияния формы, в опытах брались пучки из стальных и железных проволок в виде стержней, одинаковых по длине и объему, а размагничивающее влияние концов исключалось замыканием кольцевого ярма применяемого в лаборатории пермеметра.

Экспериментально было исследовано 17 пучков смесей, составленных из вышеуказанных стальных и железных проволок, взятых последовательно в разных процентных отношениях.

Предварительно определялись в отдельности магнитные свойства каждого из компонентов смеси.

Взятая для опыта сталь содержала: $C - 0,89\%$, $Si - 0,20\%$, $Mn - 0,30\%$, а железо: $C - 0,09\%$, $Mn - 0,43\%$.

Размеры проволок и испытуемых пучков были следующие:

Таблица 1.

	Диаметр в мм	Площадь поперечн. сечения в кв. мм	Длина в см	Вес в г	Число прово- лок
Стальная проволока	1,22	1,168	—	—	—
Железная проволока	0,96	0,723	—	—	—
Стальной пучок	—	50	20	120	48
Железный пучок	—	50	20	115	70

При исследовании магнитных свойств этих материалов определялись величины:

- H — напряжение магнитного поля,
- Φ — магнитный поток,
- B_m — максимальная магнитная индукция,
- B_r — остаточная индукция,
- H_c — коэрцитивная сила.

Работа производилась по баллистическому методу.

Величина напряжения магнитного поля H внутри пермеметра определялась по формуле:

$$H = 27,9 \times A,$$

где 27,9 есть постоянная прибора, A — сила тока в амперах.

Магнитные величины, полученные при испытании стального и железного пучков, приведены в таблице 2-ой.

Таблица 2.

Испытуемые пучки	В гауссах			
	H_m	B_m	B_0	H_c
		на кв. см		
Стальной . . .	419,38	19077	13325	21,5
Железный . . .	419,38	20850	9025	6,0

На основании большого числа наблюдаемых данных, полученных при изучении влияния изменения намагничивающего поля на величину индукции в пучках стали и железа, были построены соответствующие циклические кривые.

Из рис. 1 видно, что в виду различных магнитных свойств стали и железа, при переходе к отрицательным размагничивающим полям, мягкая составляющая, обладающая малой коэрцитивной силой, очень скоро изменяет знак индукции на обратный, в то время как твердая составляющая с большей коэрцитивной силой сохраняет еще положительный знак индукции.

По кривым магнитных циклов стали и железа были вычислены величины индукций для смесей при различных полях H , для чего, найдя по ординате численное значение индукций стального и железного пучков

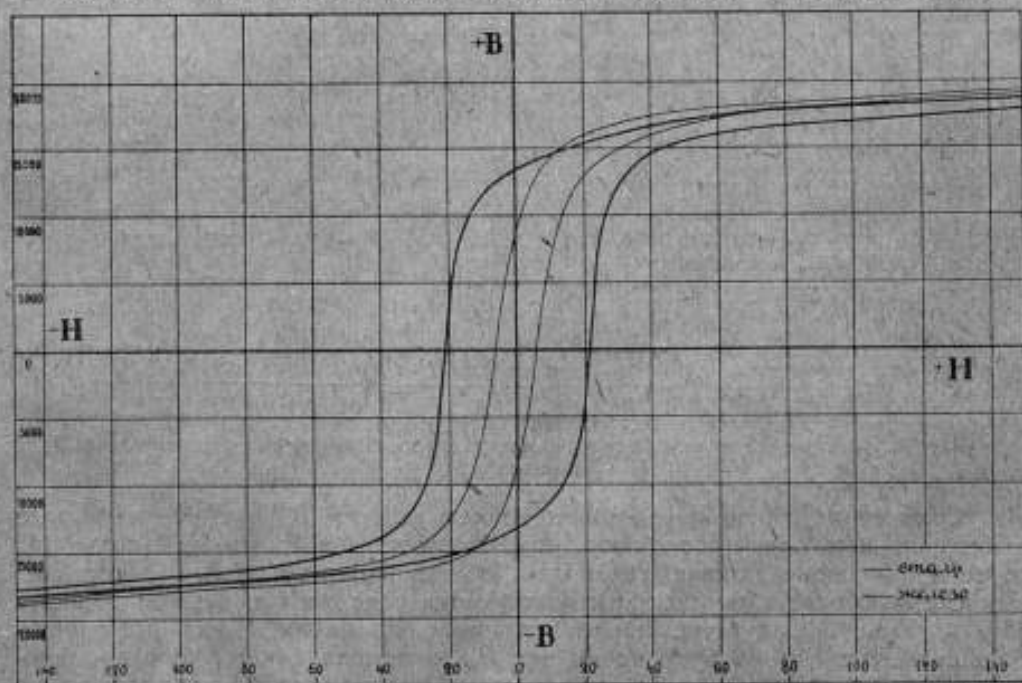


Рис. 1. Кривые магнитных циклов пучков из стальных и железных проволок.

при заданном H , брали от этих величин проценты, соответствующие содержанию в смеси стали и железа, и, суммируя их, получали индукцию смеси. Под коэрцитивной силой каждой смеси подразумевали такое размагничивающее поле, при котором сумма индукций как положительной, так и отрицательной по совокупности для обоих составляющих пучка равнялась нулю.

Производя подобные вычисления каждый раз после изменения состава смеси на 5%, были получены соответствующие значения B_m , B_0 и H_c для 19 смесей и построены три кривые (рис. 2), указывающие на то, какие результаты можно ожидать при переходе к экспериментальному исследованию пучков из смеси проволок.

В последующем опыте вынимались из стального пучка по одной или по две проволоки, заменялись двумя, тремя железными и получался пучок смеси двух различных магнитных материалов, процентное содержание которых вычислялось по числу проволок и по их диаметру.

Помещая каждый пучок смеси в пермеаметр, тем же баллистическим методом измерялись магнитные величины B_m , B_0 и H_c .

По полученным наблюдаемым данным для 17 смесей построены также три кривые (рис. 2).

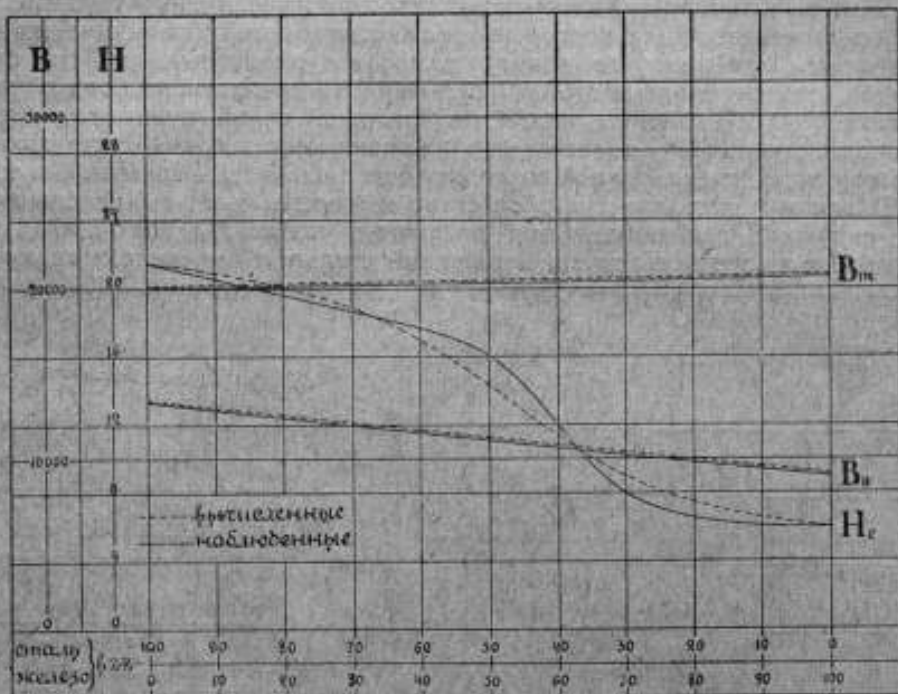


Рис. 2. Кривые магнитных величин вычисленных и наблюдаемых для смесей проволок.

Сравнивая эти кривые можно отметить, что B_m и B_0 вычисленные и наблюдаемые почти совпадают; что же касается коэрцитивной силы H_c , то ее наблюдаемая кривая, сохраняя в общем характер изгиба, пересекает вычисленную в двух точках, соответствующих содержанию железа равному 35% и 65%. Между указанными точками H_c наблюдаемая получилась больше вычисленной. В то время как B_m с прибавлением железа равномерно возрастает, B_0 также равномерно уменьшается; коэрцитивная же сила H_c до 30% примеси железа мало отличается от H_c стального пучка. Начиная же с 30% примеси железа падение H_c усиливается, выражаясь особенно резко при 50%—70% примеси железа. При большем количестве железа величина ее опять падает медленно, постепенно приближаясь к коэрцитивной силе пучка железа.

Расхождение обеих кривых, выражающих изменение величин H_c , не может быть, повидимому, отнесено на размагничивающее влияние кон-

цов стержня в пермеметре, так как поправки на сдвиг, не говоря уже о их малых величинах, вводились бы для H_c всегда со знаком $+$, тогда как разница между H_c наблюдаемой и вычисленной имеет знаки $+$ и $-$, в зависимости от процентного содержания железа.

Совершенно аналогично только что указанному мною был произведен другой опыт, где испытывались баллистическим методом также смеси, но двух других магнитных материалов и в иной обстановке, с другими измерительными приборами и в другом пермеметре, поле которого выражено той же формулой:

$$H = K \times A,$$

где K — постоянная прибора равная 42,8.

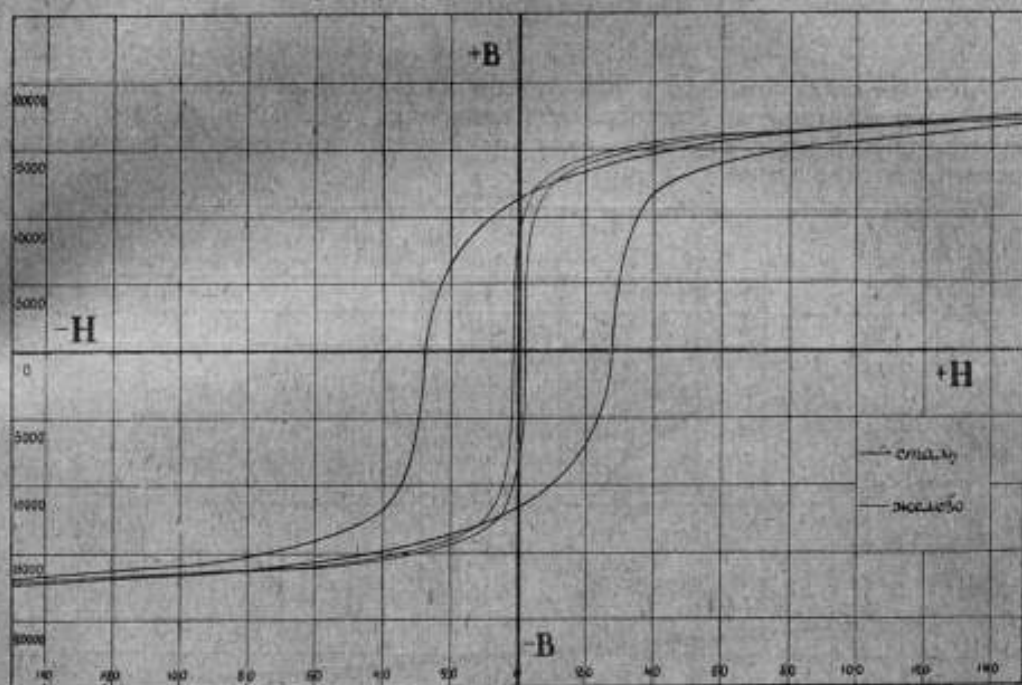


Рис. 3. Кривые магнитных циклов пакетов из стальных и железных пластинок.

Для опытов были нарезаны из углеродистой пружинной стали, содержащей: C —1,15%, S —0,14%, Mn —0,70%, и из мягкого трансформаторного железа с примесью C —0,06%, S —4,06%, Mn —0,10% пластинки и из них приготовлены два пакета, стальной и железный, следующих размеров:

Т а б л и ц а 3.

	Площадь поперечн. сечен. в кв. см	Длина в мм	Ширина в мм	Толщина в мм	Вес в г	Число пластинок
Стальная пластинка	0,161	399	33,01	0,480	40,345	—
Железная пластинка	0,120	399	33,06	0,364	32,59	—
Стальной пакет	1,290	399	33,01	3,912	394,8	8
Железный пакет	0,961	399	33,06	2,912	260,7	8

С этих пакетов сняты кривые магнитных циклов (рис. 3) и получены следующие магнитные величины.

Таблица 4.

Испытуемые пакеты	В гауссах			H_c
	H_m	B_m	B_r	
Стальной . . .	499,904	18954	11043	27,80
Железный . . .	499,904	18710	8061	1,10

Тем же способом, что и для пучков из смеси проволок, были получены предварительным вычислением величины B_m , B_r и H_c для семи пакетов смесей из стальных и железных пластинок, взятых в различном процентном отношении.

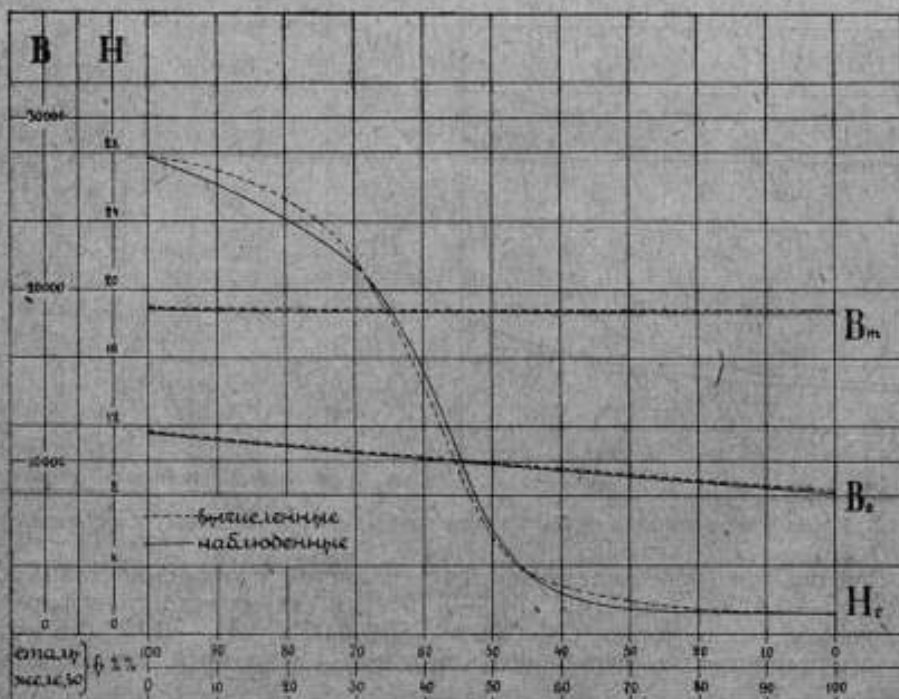


Рис. 4. Кривые вычисленных и наблюдаемых магнитных величин для смесей пластинок.

Над этими же семью пакетами смесей были произведены наблюдения и магнитные величины B_m , B_r и H_c измерены.

По данным, полученным путем вычислений и при наблюдении, построены соответствующие кривые для B_m , B_r и H_c (рис. 4), повторяющие явление, отмеченное выше при исследовании пучков из смесей проволок.

Вычисленные кривые максимальной индукции и остаточного магнетизма идут прямолинейно, в данном случае убывая, и почти совпадают с соответствующими им наблюдаемыми кривыми.

Вычисленная же кривая коэрцитивной силы H_c , как и при испытании пучков из смесей проволок, имеет конфигурацию подобную наблюдаемой и пересекается этой последней в двух точках, при чем точки пересечения в обоих опытах соответствуют почти одному и тому же процентному содержанию стали и железа как в пучках из проволок, так и в пакетах из пластинок.

Между этими точками, соответствующими смесям с содержанием железа от 30% до 65%, кривая коэрцитивной силы наблюдаемая лежит также выше вычисленной. В обоих опытах расхождение кривых не превышает в среднем ± 1 гаусс.

Испытуемые материалы в пакетах из пластинок по своим магнитным свойствам резко отличаются друг от друга, чем в пучках из проволок, а потому падение коэрцитивной силы на участках кривых между указанными точками пересечения выражено здесь значительно резче. Для по-

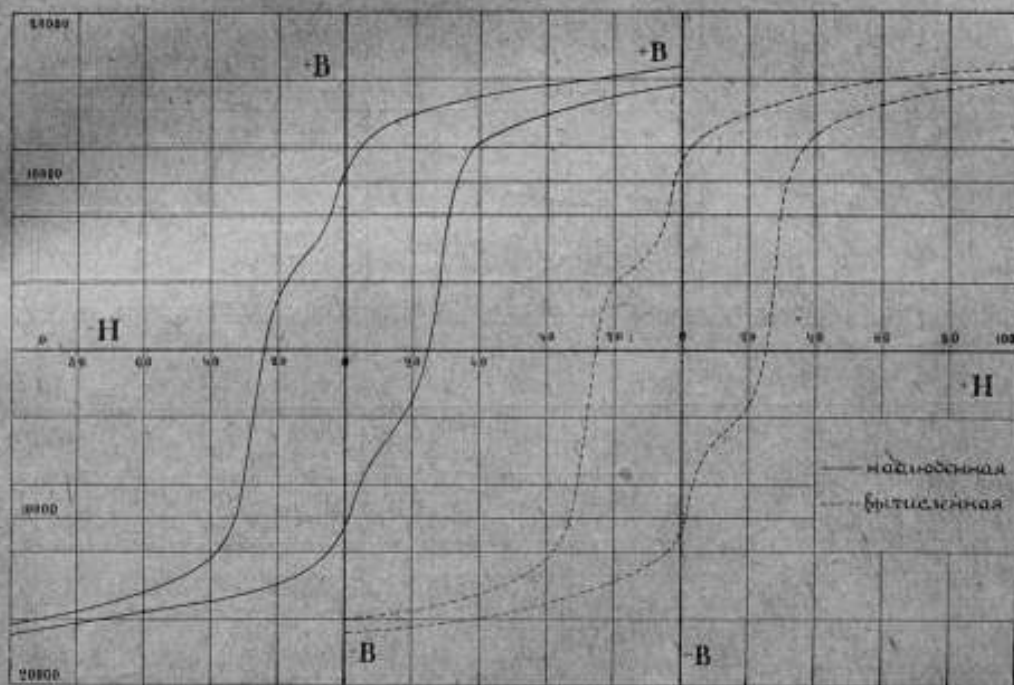


Рис. 5. Кривые магнитных циклов смеси 81,21% стали с 18,79% железа.

дробного изучения вида циклов гистерезиса из семи пакетов смесей пластинок четыре были подвергнуты циклическому намагничиванию и сняты их кривые магнитных циклов.

Для тех же четырех смесей циклические кривые были вычислены указанным выше способом и построены. Оказалось, что по своей форме они почти подобны наблюдаемым и имеют лишь незначительную разницу в величинах индукции и задерживающей силы (рис. 5, 6, 7 и 8).

Эти кривые магнитных циклов смесей, характеризующие суммарный гистерезис двух магнитных материалов, различно реагирующих на одно и то же напряжение магнитного поля, уклоняются от обычной формы гистерезисной петли стали и железа.

На всех кривых замечается резкое падение индукции B при малых значениях размагничивающего поля H . При увеличении же напряжения

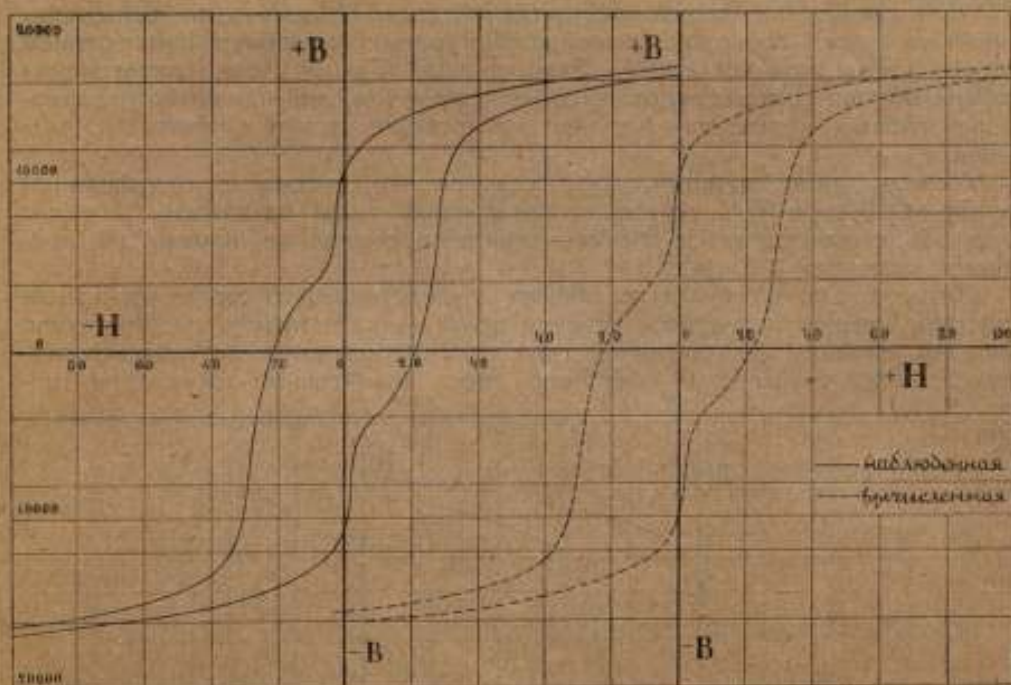


Рис. 6. Кривые магнитных циклов смеси 70,37% стали с 29,63% железа.

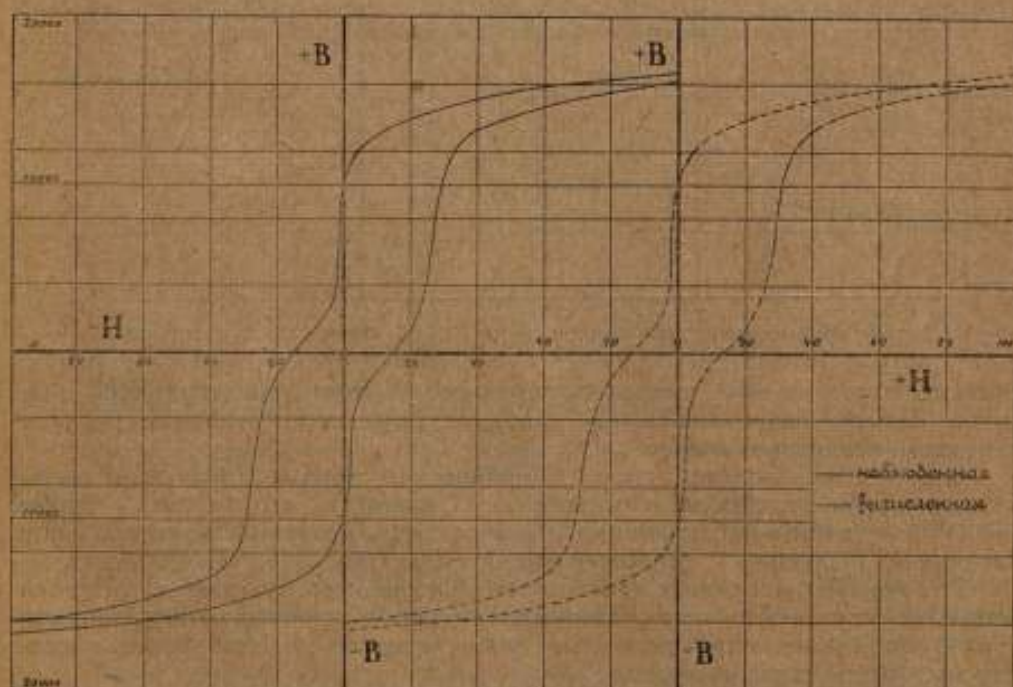


Рис. 7. Кривые магнитных циклов смеси 59,26% стали с 40,74% железа.

магнитного поля падение индукции замедляется, и на нисходящих ветвях кривых образуется колено, ниже которого циклические кривые смесей расширяются, приближаясь к обычной форме гистерезисной петли стали.

С увеличением процентного содержания железа в испытуемой смеси колено нисходящей ветви перемещается, приближаясь к оси абсцисс, и даже спускается ниже ее, как это видно из рис. 8, где содержание железа в смеси равно 67%, и гистерезисная петля принимает змеобразную форму головы кобры.

Численные величины H_c , при которых индукция обоих компонентов в смесях должна упасть до 0, на циклических кривых как вычисленных, так и наблюдаемых вполне совпадают с соответствующими величинами H_c , показанными на рис. 4, повторяя те же отклонения и по величине и по знаку.

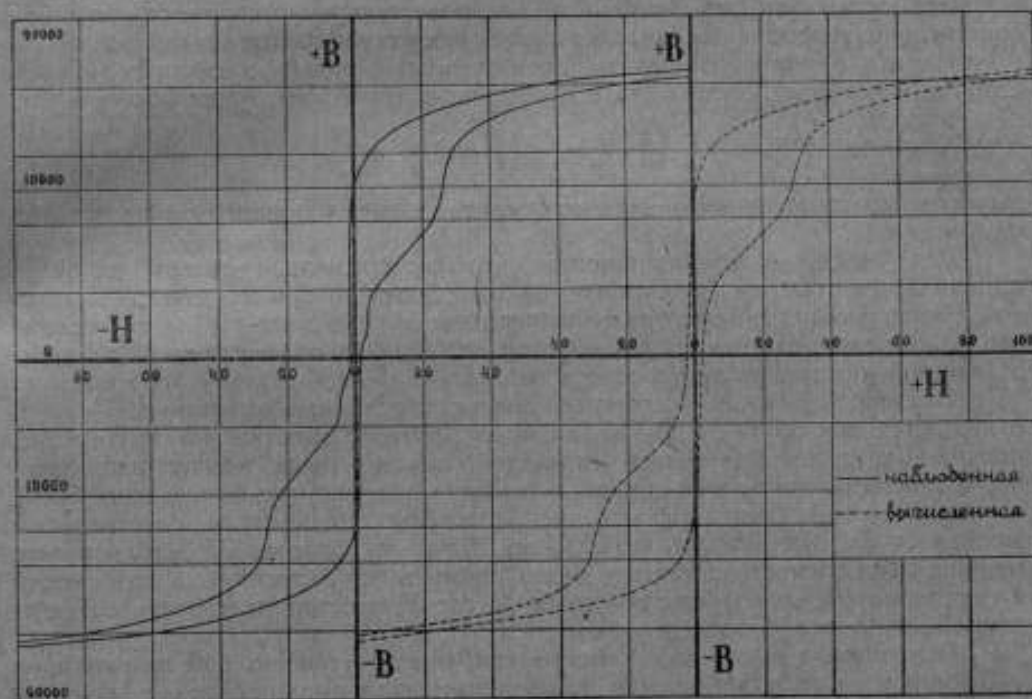


Рис. 8. Кривые магнитных шполов смеси 32,54% стали с 67,46% железа.

Случаи уклонения кривых магнитных циклов от их обычной формы встречались уже и раньше, но при совершенно иных опытах.

В. Кауфман и В. Мейер ¹⁾ в своей работе: „Магнитные свойства электролитических слоев железа“ указывают на колено, наблюдаемое ими иногда в определенной точке на гистерезисной петле, снятой с железного стержня, полученного путем электролиза и подвергнутого затем катодной поляризации в растворах слабой уксусной кислоты или щавелево-кислого аммония.

Они предполагали, что это колено можно поставить в связь с диффузией водорода в поверхностные слои стержня и образованием слоев железа с различной коэрцитивной силой.

¹⁾ W. Kaufmann und W. Meier. Magnetische Eigenschaften elektrolytischer Eisenschichten. Physikalische Zeitschrift. XIII. 1911.

Об искажении гистерезисной петли упоминает еще Спунер¹⁾ при определении соотношения между коэрцитивной силой и потерей энергии на гистерезис в своей работе: „Нормальный гистерезис и токи Фуко“. Он говорит, что Гумлих и Болл указывали на возможность случая, когда имеется рядом два материала равного поперечного сечения с высокой и низкой задерживающей силой.

При таких условиях наблюдаемая задерживающая сила будет только несколько выше H_c материала с низкой коэрцитивной силой, что очень искажает гистерезисную петлю, делая ее уже в месте нулевой индукции и лишает возможности пользоваться величиной H_c для вычисления потери энергии на гистерезис²⁾. Подобное сочетание Спунер предполагает возможным при некоторых условиях процесса термической обработки стали; так, например, во время отжига в окислительной атмосфере углерод выгорает с поверхности, или же наоборот, на поверхности получается большее содержание углерода в случае процесса искусственной цементации.

Площади наблюдаемых и вычисленных кривых магнитных циклов стали, железа и их смесей были измерены планиметром и по формуле:

$$W = \frac{1}{4\pi} \int H dB$$

вычислены потери энергии на гистерезис за время полного цикла в эргах на куб. см.

Для смесей в предположении, что гистерезисные потери их будут определяться простым суммированием отдельных потерь для мягкой и твердой составляющих, были также вычислены потери энергии на гистерезис без планиметрирования площадей, при чем брался определенный процент от величин потерь на гистерезис в пакетах из чистой стали и из железа.

Оказалось, что вычисленные двумя способами величины W мало отличаются как друг от друга, так и от потерь энергии на гистерезис, полученных путем измерения площадей, заключенных между наблюдаемыми кривыми магнитных циклов, и требуют поправки не более, как $\pm 6,5\%$.

Из таблицы 5 видно, что для смесей с процентным содержанием железа от 0% до 35% и от 65% до 100%, у которых H_c наблюдаемая меньше вычисленной, поправку надо вносить со знаком $-$, а для смесей с содержанием железа от 35% до 65%, где H_c наблюдаемая больше вычисленной, поправка будет со знаком $+$.

Отмеченные выше соотношения, требующие, конечно, еще дальнейших наблюдений и подтверждений в экспериментальных работах с другими магнитными материалами, могут упростить вычисления потерь энергии на гистерезис для смесей с различным процентным содержанием компонентов.

Заканчивая изложение произведенных наблюдений, можно сделать следующие выводы:

1. В простейшем случае механической смеси образцов из различных магнитных материалов, но однородных по форме, каждая составляющая смеси ведет себя самостоятельно при любых условиях намагничивания, что дает возможность алгебраического суммирования возникающих в образцах индукций для получения соответствующих индукций смесей.

2. Возможно вычислять B_m , B_0 и H_c для смесей с любым процентным содержанием магнитных материалов, если известны кривые магнитных

¹⁾ T. Spooner, Normal Hysteresis and Eddy Currents. The properties and testing of Magnetic Materials. The Electric Journal, III, 1925.

²⁾ Статья E. Gumlich: „Die magnetischen Eigenschaften von ungleichmässigem Material“. Arch. f. Elektrot. Bd. 9, 1920, поступила в библиотеку Главной Палаты мер и весов после того, как моя работа была слана в редакцию.

Т а б л и ц а 5.

Количество пластинок		ИСПЫТУЕМЫЕ ПАКЕТЫ		В гауссах на кв. см				В гауссах		Потери энергии на гистерезис за время полного цикла в эргах на 1 куб. см		Разница $W_2 - W_1$ в %				
		Сталь	Железо	Железо	Сталь	Железо	Сталь	Железо	наблюденная	вычисленная	W_1		W_2			
Сталь	Железо	% содержание		Площадь поперечн. сечения в кв. см		Площадь поперечн. сечения в кв. см		B_m	B_s	H	B_s	H	W_1	W_2		
8	—	100,0	—	1,270	—	1,270	18954	—	11643	27,80	—	187610	—	—	—	—
7	1	90,67	9,33	1,108	0,114	1,222	18940	18881	11280	25,89	11300	—	—	—	126026	—
6	2	81,21	18,79	0,951	0,320	1,171	19007	18907	10257	24,14	10231	107237	114474	114272	—	- 6,15
5	3	70,37	29,63	0,791	0,333	1,124	18997	18881	10418	21,55	10581	96910	107022	100803	—	- 3,86
4	4	59,25	40,74	0,633	0,435	1,068	18965	18855	9676	14,59	10183	89942	88853	89999	—	+ 2,40
3	5	46,40	53,60	0,477	0,551	1,028	18796	18622	9402	4,28	9722	—	—	—	71020	—
2	6	32,54	67,46	0,318	0,650	0,977	18559	18789	9077	1,20	9228	50286	54474	53789	—	- 6,52
1	7	17,10	82,90	0,158	0,767	0,825	18754	18748	8578	1,15	8672	—	—	—	34615	—
—	8	—	100,0	—	0,879	0,879	18710	—	5061	1,10	—	13368	—	—	—	—

1) W —полученные путем измерения площади, заключенных между наблюдаемыми циклическими кривыми.

2) W_1 —полученные путем измерения площадей, заключенных между вычисленными двукривыми кривыми.

3) W_2 —полученные путем суммирования потерь отдельных компонентов смеси, взятых в определенном процентном отношении.

циклов для обоих исходных материалов, при чем B_m и B_s вычисленные почти вполне совпадают с наблюдаемыми, коэрцитивная же сила может быть вычислена лишь с точностью до ± 1 гаусса и знак поправки будет зависеть от процентного содержания примеси.

3. Кривые магнитных циклов механической смеси стали и железа отклоняются от обычного вида гистерезисной петли, при чем наблюдаемые кривые повторяют форму вычисленных. При малых размагничивающих полях кривая индукции резко падает, а при увеличении H —на нисходящей ветви кривой магнитного цикла смеси образуется колено, перемещающееся по кривой в зависимости от процентного содержания примеси железа.

4. Потеря энергии на гистерезис за время полного цикла в эргах на куб. см может быть вычислена для любой смеси с точностью до $\pm 6,5\%$, если известны потери компонентов смеси.

Заведующему лабораторией А. Н. Бойко за предложенную тему и за указания во время работы приношу глубокую благодарность.

МЕТОД ПРИГОТОВЛЕНИЯ ОБРАЗЦОВОГО ПРЕПАРАТА ЗЕЛЕННОЙ ОКСИ УРАНА.

Л. Н. Богоявленский.

Сравнение α -излучающих радиоактивных препаратов могут быть выполнены путем непосредственного измерения ионизационных токов, которые выражаются в абсолютных электростатических единицах. Однако, в виду трудностей, которые встречаются при определении электростатических констант приборов, служащих для измерений радиоактивности, в повседневной практике принято сравнивать интенсивность излучения вещества с излучением чистой зеленой окиси урана U_3O_8 , которые располагаются в виде тонкого равномерного слоя на дисках одинакового диаметра. Толщина слоя при этих измерениях должна быть настолько велика, чтобы получился предел насыщения для α -излучения, т. е., чтобы при дальнейшем увеличении толщины слоя эффект α -излучения оставался бы постоянным. С другой стороны, значительное превышение этого предела является нежелательным в виду увеличивающегося в высшей степени сложного эффекта проникающих β и γ лучей, учесть который трудно и возможно только при условии знания точных данных относительно формы ионизационной камеры и материала, из которого она сделана. Последние два условия имеют в виду неполноту процесса ионизации, вызываемого проникающими β и γ лучами, и весьма сложный эффект вторичных излучений.

Урановая единица является исторически первой единицей радиоактивности. В 1896 г. Беккерель¹⁾ предложил для этой цели металлический уран, к которому и относятся самые старые данные. К сожалению, получение чистого урана металла сопряжено с большими затруднениями чисто химического характера. В 1904 г. St. Meyer и Schweidler²⁾ предложили нормальный раствор азотнокислого уранила, из которого можно приготовить активную поверхность, налив на диск определенное количество раствора и выпарив его. Однако, в 1905 г. М^с Соу³⁾ предложил еще более удобное вещество для стандартных целей, именно — зеленую окись урана U_3O_8 , которая легко может быть получена в химически чистом виде свободной от радиоэлементов, не являющихся ближайшими продуктами распада элемента урана.

Приготовление образцового препарата для сравнения производится следующим образом. Тщательно очищенная от всех радиоактивных примесей зеленая окись урана растирается в очень мелкий порошок, который смешивается с чистым спиртом, и смесь затем наливается на плоский диск с диаметром около 6 см. После того, как спирт улетучился, получается равномерно покрытая площадь, которая и может служить эталоном для сравнения. Иногда вместо спирта употребляется свежее перегнаный хлороформ и готовится нечто вроде пасты, которая наносится на диск.

Радиоактивный распад элемента урана происходит согласно схеме:



¹⁾ Литературу см. St. Meyer und Schweidler, Radioaktivität, 1916 S. 212.

²⁾ id.

³⁾ id.

при чем практически равновесие между членами ряда UI , UX_1 и UX_2 наступает через 11 месяцев.

Радиоактивные свойства этих элементов таковы.

1. UI представляет из себя главную массу вещества с периодом полураспада 5×10^8 лет. В чистом виде испускает только α -лучи с пробегом, по позднейшим работам ¹⁾, $R = 2,68$ см при 0° и 760 мм.

Общий ток насыщения от 1 см² α -насыщенного слоя, т. е. слоя, при увеличении толщины которого количество α -излучения не увеличивается, по исследованиям М^c Соу ²⁾, для зеленой окиси урана U_3O_8 равен $1,73 \times 10^{-10}$ Э.С.Е. в сек. или $5,78 \times 10^{-11}$ ампера.

Если слой является ненасыщенным, то можно применять формулу:

$$I = I_0(1 - e^{-kr}),$$

где: I_0 — ток насыщения от α -насыщенного слоя, r — вес вещества, k — постоянная.

Применяя эту формулу, М^c Соу выводит отношение полностью утилизированного излучения от 1 г металлического урана к одностороннему излучению от слоя в 1 см² U_3O_8 . Это отношение при бесконечно тонком излучающем слое выражается числом 790, которое называется числом М^c Соу. Таким образом, полный ток, который можно получить от всех α -частиц, испускаемых 1 граммом урана, будет равен 1,37 Э.С.Е. или $4,57 \times 10^{-10}$ ампера.

2. Ближайшие продукты распада урана UX_1 и UX_2 не испускают α -лучей, почему присутствие их в препарате может быть легко замечено. UX_1 имеет период полураспада 23,8 дня и дает β -лучи с $\mu = 510$ см⁻¹ Al и γ -лучи двух родов: $\mu = 24$ см⁻¹ Al и $\mu = 0,70$ см⁻¹ Al. UX_2 — с периодом полураспада 1,17 минуты, дает β -лучи с $\mu = 14,4$ см⁻¹ Al и γ -лучи с $\mu = 0,14$ см⁻¹ Al. Нарастание количества этих проникающих излучений идет по экспоненциальному закону, и практически постоянными они становятся приблизительно через 11 месяцев после изготовления урановой окиси.

3. UI изотоп UI , вследствие чего не может быть отделен от него химически, с периодом полураспада в 3×10^8 лет, испускает только α -лучи с пробегом 2,76 см ³⁾ при 0 и 760 мм. По отношению к UI он находится в ничтожно малом количестве (0,04%), почему присутствие его в препарате не может оказывать заметного влияния на точность измерений.

Таким образом, в свежее приготовленной окиси урана практически приходится наблюдать два рода излучений: постоянное α -излучение от UI и UII и небольшое количество β и γ -излучения с различной проникающей способностью от UX_1 и UX_2 , которые отсутствуют только в момент отделения от урана и начинают постепенно накапливаться, следуя экспоненциальному закону. Через 23,8 дня количества их будут вдвое меньше, чем в состоянии равновесия, которое практически уже наступает через 11 месяцев (99% — через 157 дней и 99,5% — через 314 дней или 10,5 месяцев).

Химическая и радиологическая чистота окиси урана U_3O_8 может быть обусловлена: 1) химическим способом очистки, 2) величиной тока насыщения, даваемого α -лучами от 1 см² поверхности α -насыщенного слоя и 3) правильностью кривой нарастания проникающих излучений.

¹⁾ Gudden. Zeit. f. Phys. 24. 1924. S. 110.

²⁾ Radioaktivität. S. Meyer und Schweidler. 1918. S. 212.

³⁾ Zeit. f. Phys. 24. 1924. S. 110.

В виду ярко выраженных химических свойств урана, получение чистой окиси урана не представляет больших затруднений, и материалом для извлечения ее может служить любая руда или препарат урана.

В радиологической лаборатории Главной Палаты мер и весов извлечение урана производилось лаборантом А. Н. Пылковым из ферганской радиоактивной руды, представляющей из себя весьма сложный химический и минералогический комплекс. Главной активной составной частью этой руды является минерал тюа-мунит, представляющий урано-ванадат кальция и, следовательно, родственный американскому карнотиту. Из этой руды уран получался, принимая все меры предосторожности, чтобы получить препарат лишенный других радиоэлементов, кроме упомянутых выше β — излучающих, которые являются ближайшими продуктами его распада.

Измельченная руда, содержащая в среднем 16% U_3O_8 , обрабатывалась избытком соляной кислоты до прекращения выделения углекислоты. К раствору (не фильтруя его) прибавлялось небольшое количество хлористого бария и затем немного серной кислоты, после чего раствор отфильтровывался.

В осадке вместе с сернокислым барием остаются радий, протактиний, актиний и др.

Раствор разбавлялся водой и, после добавления очень небольшого количества азотнокислых свинца и висмута, осаждался сероводородом. С сульфидами меди, свинца и висмута отделялись все продукты распада радия и эманации радия.

Раствор переокислялся и осаждался аммиаком. Осадок подвергался обработке содой и едким натром для отделения ванадия, который переходил в раствор.

Осадок, содержащий уран и элементы, близкие по своим свойствам к группе редких земель, растворялся в слабой азотной кислоте, после чего к раствору добавлялось немного азотнокислого церия¹⁾, который осаждался затем шавелевой кислотой, увлекая за собой ионий, радиоактиний и уран X.

Раствор осаждался аммиаком, после чего выпадал уран, который очищался растворением в углекислом аммонии и переводился затем в азотнокислую соль, которая потом очищалась еще эфиром.

Полученный азотнокислый уранил подвергался еще раз полной очистке, при чем применялся стандартный метод предложенный Widdowson и Russel²⁾, который в принципе мало отличался от применяемого нами.

К кислому раствору нитрата уранила прибавлялось очень небольшое количество нитратов висмута и свинца и производилось осаждение сероводородом. После фильтрования раствор кипятился, и к нему прибавлялось очень небольшое количество нитрата тория, после чего последний осаждался из почти нейтрального раствора фтористоводородной кислотой. С торием отделялись все элементы с атомными номерами 90 и 89. Фильтрат кипятился до удаления фтористоводородной кислоты, после чего к нему прибавлялся в небольшом количестве хлористый барий. Последний осаждался серной кислотой и увлекал с собой элементы с атомным номером 88.

Уран осаждался из раствора аммиаком и затем растворялся в избытке углекислого аммония. Раствор отфильтровывался и обрабатывался азотной кислотой при кипячении для полного удаления угольной кислоты и затем

¹⁾ Приведенная схема обработки ферганской руды имела целью не только одно выделение урана: для других операций являлось существенно важным отсутствие тория, вместо которого добавлялся церий.

²⁾ Phil. Mag. v 46 nov. 1923.

снова осаждался аммиаком. Эта операция производилась три раза, после чего хорошо отмытый уранат аммония прокаливался в тигле при доступе воздуха до U_3O_8 .

Полученная таким способом зеленая окись урана оказалась весьма чистой, что и было доказано последующими измерениями тока насыщения и кривой нарастания проникающих β -и γ -излучений, которые были выполнены лаборантом А. А. Ломакиным.

Измерения тока насыщения производились с электроскопом, в котором диск с измеряемым веществом помещался на круглой пластинке, укрепленной непосредственно на стержне с золотым листком. При измерении тока насыщения принималось во внимание следующее.

Толщина слоя вещества должна быть такова, чтобы при дальнейшем ее увеличении количество ионизирующего воздуха излучения не возрастало. Такой α -насыщенный слой получается уже при 15—20 мг U_3O_8 на 1 см² поверхности.

Утилизация эффекта α -излучения должна быть полной, для чего слой ионизируемого воздуха должен быть толще максимального пробега α -частицы урана, т. е. 2,76 см.

Эффект проникающих β -и γ -лучей должен быть возможно меньшим, так как последние способны давать вторичные излучения от стенок, искажающие результаты. Для этого необходимо брать окись урана свежее приготовленную, в которой еще не успели образоваться β -и γ -излучающие продукты распада.

Напряжение должно быть достаточно велико, чтобы создать ток достаточно близкий к току насыщения.

Измерения препарата производились в следующих условиях.

На углубление в диске диаметром 6 см и глубиной 1 мм распределялись равномерным слоем 2 г мелко измельченной окиси урана. При таких условиях на 1 см² поверхности приходилось 70 мг вещества, т. е. в 3,5 раза больше, чем требуется для α -насыщенного слоя. Такой слой приходится в уровень с краем диска, вследствие чего эффект α -излучения используется полностью, что доказывается совершенно одинаковыми значениями для величины тока насыщения на 1 см² при различных диаметрах круга, по которому было распределено вещество.

Измерение препарата производилось не позже, чем через 24 часа после отделения β -и γ -излучающих продуктов распада, вследствие чего количество проникающих излучений было незначительно. Кроме того, эффект их учитывался при помощи алюминиевого фильтра 0,1 мм толщины, который целиком поглощал все α -лучи, ослабляя в то же время в незначительной степени эффект β -и γ -лучей.

Так как в проникающем излучении продуктов распада урана преобладающую роль играют жесткие β -лучи с коэффициентом поглощения $\mu = 14,4 \text{ см}^{-1} \text{ Al}$, то, пренебрегая действием других лучей, которое ничтожно, можно написать:

$$I = I_0 e^{-\mu d}$$

откуда, подставляя соответствующие цифровые значения, получаем $I_0 = 1,15 \cdot I$, т. е. алюминиевый фильтр 0,1 мм поглощает 15% β -лучей.

Таким образом, произведя измерения с фильтром и без фильтра и учитывая нормальное рассеяние, можно определить ток насыщения от одного только α -излучения на 1 см² поверхности.

Напряжение в приборе при измерениях находилось в пределах от 400 до 300 вольт, т. е. от 100—75 вольт на 1 см, что вполне гарантировало образование тока насыщения.

Чтобы получить ток насыщения от α -излучения урана, необходимо сделать поправку на ток от β -излучения и нормальное рассеяние и отнести все к 1 см^2 поверхности площади:

$$I_a = (I - I' - I_\beta) \frac{1}{F},$$

где: I_a — ток от α -излучения, I — измеренный ток от общего излучения, I_β — ток от β -излучения, I' — ток нормального рассеяния и F — площадь поверхности излучающего слоя в кв. сантиметрах.

Принимая приведенные выше рассуждения относительно поглощения β -лучей Al фильтром $0,1 \text{ см}$ толщиной, очевидно $I_\beta = 1,15 I'_\beta$, где I'_β — измеренный ток от β -излучения экранированного фильтром.

Общий ток насыщения можно вычислить по формуле:

$$I_a = \frac{\Delta V \cdot C}{300 \cdot F} \left[\frac{1}{t} - \frac{1}{t'} - 1,15 \left(\frac{1}{t_\beta} - \frac{1}{t'} \right) \right] = \frac{\Delta V \cdot C}{300 \cdot F} \left[\frac{1}{t} - \frac{1,15}{t_\beta} + \frac{0,15}{t'} \right].$$

В наших условиях опыта $\Delta V = 53,5$ вольт, $C = 13,9 \text{ см}$ и $F = 28,27 \text{ см}^2$, $t = 49,9 \text{ сек.}$, $t'_\beta = 3930 \text{ сек.}$ и $t' = 7200 \text{ сек.}$

Подставляя эти значения в формулу, получаем на 1 см^2 : $I_a = 1,74 \times 10^{-11}$ Э.С.Е. в сек. Эта величина для тока насыщения от α -излучения на 1 см^2 поверхности U_9O_8 очень близко подходит к цифре, которую дает $M^o \text{ Co}_y$.

Кривая нарастания проникающих излучений составлялась в течение трех месяцев. Измерения производились с более чувствительным β -электроскопом (электростатическая емкость $1,5 \text{ см}$, одно деление шкалы соответствует $0,6$ вольт). Препарат на диске помещался под алюминиевым дном прибора с толщиной $0,1 \text{ мм}$. Прибор был занят исключительно под эту работу, и препарат в течение трех месяцев оставался в одном и том же положении.

Величина ионизационного тока прибора выражается уравнением:

$$I = \frac{\Delta V \cdot C}{300 \cdot t},$$

где t — время спадания листка электроскопа в секунду. Если t_β — время спадания обусловленное эффектом β -лучей и t' — нормальное рассеяние, то ток от β -излучения выразится:

$$I_\beta = \frac{\Delta V \cdot C}{300} \cdot \left(\frac{1}{t_{\beta 1}} - \frac{1}{t'} \right) = k \left(\frac{1}{t_\beta} - \frac{1}{t'} \right),$$

$\frac{\Delta V \cdot C}{300}$ есть постоянная величина, которая не вычислялась, так как измерения имели в виду выяснение только характера явления.

Результаты измерений можно видеть из таблицы на стр. 150, где приведены: время образования β -излучения с момента отделения продуктов распада в часах, значение $\frac{I_\beta}{k}$ и значение функции $1 - e^{-\lambda t}$, которая выражает теоретическую кривую, если принять за период полураспада для UX_2 24 дня.

Графически результаты этих измерений представлены на рис. 1, где точки измерений весьма близко подходят к теоретической кривой.

Итак, приготовленная в Радиологической Лаборатории окись урана удовлетворяет всем условиям чистоты, чтобы метод ее получения из ферганской урано-ваннадиевой руды признать стандартным методом.

Урановая единица, широко употребляемая для измерений радиоактивности в международном масштабе, является единственной, которая

находится в точном соотношении с абсолютными электрическими единицами, так как она выражает ионизирующий эффект одного α — излучения. Этот эффект может быть точно выражен величиной тока, зависящей только от числа α — частиц и не зависящей от формы камеры, в которой происходят ионизационные процессы, и материала, из которого она сделана. При знании электростатических констант прибора уже можно с помощью

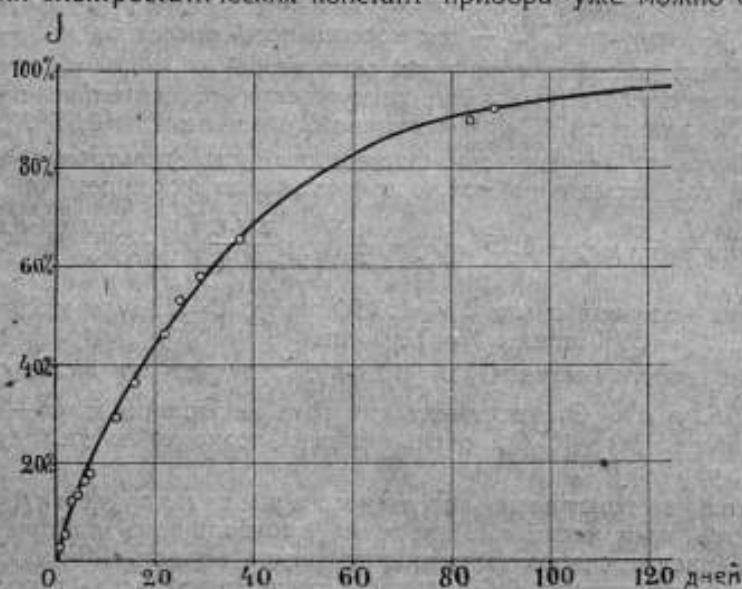


Рис. 1.

его измерять токи и выражать их в абсолютных единицах, почему употребление окиси урана, если ее излучение выражает некоторую вполне определенную силу тока, является уже излишним. Тем не менее, этот препарат употребляется широко не только для сравнения α — излучающих продуктов, но и вообще даже испускающих проникающие излучения. Однако, это может производиться только при обязательном условии, чтобы эффект проникающих излучений был уменьшен, насколько это возможно, что достигается употреблением достаточно тонких слоев, при которых играет роль только поверхность и уничтожается влияние эффекта нижних слоев.

Время нарастания в часах	$\frac{I_t}{k}$	$1 - e^{-kt}$
25	0,240	0,03
47	0,431	0,055
93	0,827	0,105
118	0,988	0,132
144	1,171	0,159
167	1,332	0,182
285	2,162	0,289
380	2,614	0,366
453	3,022	0,419
525	3,414	0,468
599	3,964	0,512
696	4,588	0,567
889	5,279	0,656
2017	6,723	0,911
2118	6,616	0,9213

МЕТОД ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ВЗВЕШИВАНИЙ МЕЛЬЧАЙШИХ ЧАСТИЦ.

А. Н. Бойко.

Излагаемый здесь метод касается мельчайших материальных частиц размерами около 1 микрона и весом от 10^{-13} до 10^{-11} грамма. В повседневной жизни частички такого размера нам известны, как плавающая в воздухе пыль, видимая в проходящем луче солнца, капельки тумана, частички дыма. Метод дает возможность выбрать одну определенную частичку и решить вопрос о ее размерах, весе и находящемся на ней электрическом заряде. С другой стороны, он дает возможность наблюдать и измерять наименьший электрический заряд—заряд электрона.

Область применения этого метода: а) изучение Броуновского движения и его зависимости от заряда частички, б) изучение элементарного фотоэлектрического эффекта, в) измерение светового давления на частички размера длины волны, г) измерение магнитной индукции ферро-магнитных частиц, д) изучение испарения чрезвычайно мелких капель при заданной упругости пара.

В метрологической практике этот способ интересен, как крайний случай весовых определений—массу в 10^{-12} грамма можно определить при исключительных предосторожностях с точностью до 0,5%. Я пользовался этим методом, разработанным профессором А. Ф. Иоффе¹⁾, во время моей работы у него над измерением магнитных свойств мельчайших частиц железа и никкеля. Считаю необходимым выразить ему здесь свою глубокую признательность за всемерное содействие работе.

Описание установки и метода наблюдений.

Маленькие частички материи всегда оказываются заряженными положительно или отрицательно, и только некоторая небольшая часть их нейтральна в электрическом смысле. Для каждой частички можно так подобрать разность потенциалов в конденсаторе, чтобы сила электрического взаимодействия была численно равна весу частички и направлена по вертикали снизу вверх. Уравновешенная таким способом частичка может неопределенно долго висеть неподвижно в воздухе или в пустоте в пространстве между пластинами конденсатора.

Условие полной компенсации веса частицы выражается уравнением:

$$m \cdot g = \frac{V}{d} \cdot E,$$

где: m —масса частицы (в граммах), g —ускорение силы тяжести (981,9 дин), V —разность потенциалов на пластинах конденсатора, d —расстояние между пластинами конденсатора (в сантиметрах) и E —заряд частицы.

¹⁾ А. Ф. Иоффе. Элементарный фотоэлектрический эффект. С.-Петербург, 1913 г.

При вычислениях надо помнить, что разность потенциалов должна быть выражена в электростатических единицах (практически—показания вольтметра надо делить на 300). Заряд частицы, как мы увидим дальше, всегда можно выразить через число электронов и заряд самого электрона; равный по Милликену ²⁾ $4,774 \pm 0,005 \times 10^{-10}$ электростатических единиц:

$$E = n \cdot e = n \times 4,774 \times 10^{-10}.$$

Готовая для вычисления формула будет иметь следующий вид:

$$m = \frac{V \cdot n \cdot 4,774 \times 10^{-10}}{d \cdot 300 \cdot 981,9} \text{ грамма.}$$

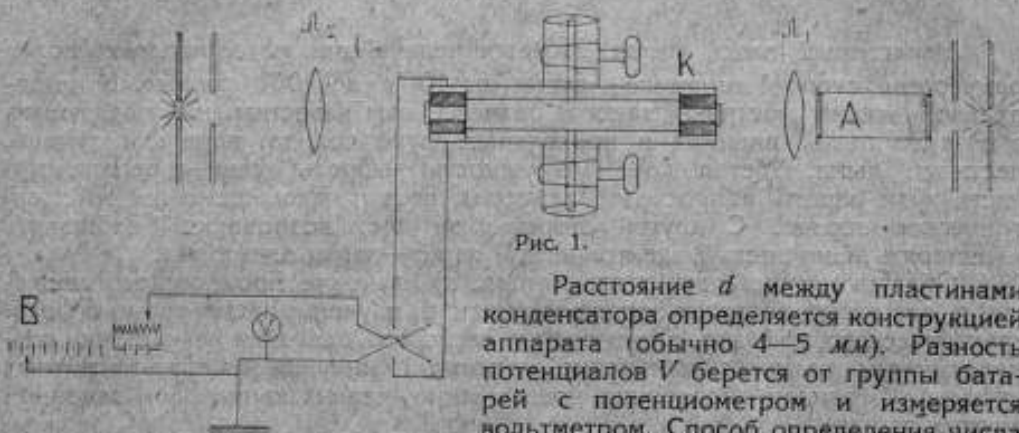


Рис. 1.

Расстояние d между пластинами конденсатора определяется конструкцией аппарата (обычно 4—5 мм). Разность потенциалов V берется от группы батарей с потенциометром и измеряется вольтметром. Способ определения числа электронов n изложен ниже.

Схема установки, какую я пользовался для своих работ, показана на рис. 1.

Латунный конденсатор K из двух дисков диаметром 5 см снабжен кольцевой эбонитовой прокладкой с тремя круглыми окошками. Окошко справа пропускает узкий пучок лучей от дугового фонаря, прошедший через охладитель A с раствором железных квасцов (для поглощения тепловых лучей). Стекло́нная линза L_1 так фокусирует лучи, что они не задевают пластин конденсатора и уходят через окошко слева. Через левое окошко пропускаются ультрафиолетовые лучи от фонаря с железными электродами. Фокусируются лучи кварцевой линзой L_2 , окошко закрыто кварцевой пластинкой. Перед третьим окошком перпендикулярно к плоскости чертежа находится не показанный на рисунке микроскоп с малым увеличением, снабженный окулярной шкалой, 100 делений которой равняются 5 мм. Расстояние между пластинами конденсатора было 4,13 мм. Напряжение на пластины подается через двухполюсный переключатель на парафине от батареи аккумуляторов, снабженной коммутатором и потенциометром. При больших напряжениях вольтметр приключался к потенциометру, напряжение на группах батарей измерялось отдельно. Не показанный на чертеже автомат с тяжелым маятником (25 кг) мог в нужную минуту отсоединять приложенное напряжение, замыкать на короткую конденсатор и присоединять его к земле на время около 1 секунды (точно 1,126 сек.) для наблюдения скорости свободного падения частицы в воздухе. Пройденный за 1,126 сек. путь измерялся по шкале микроскопа. Через верхний и нижний краны конденсатора и маленькие в нем центральные

²⁾ R. A. Millikan, Phil. Mag (6) 34 p. 1, 1917.

отверстия вдувались вместе с струей воздуха частички исследуемых веществ или капельки жидкости. На темном фоне эбонитового кольца появившиеся частички, освещенные сбоку пучком лучей, видны в микроскоп, как яркие звездочки (принцип ультра-микроскопа). Закрывание обоих кранов останавливает беспорядочное движение частичек в струе воздуха. Появление разности потенциалов на пластинах конденсатора сказывается на частичках чрезвычайно резко: часть их начинает быстро падать, другая часть быстро подниматься кверху под влиянием собственных зарядов и электрического поля конденсатора. Для какой-нибудь одной частички можно так подобрать силу поля (действуя переключателем и коммутатором), что она останется неподвижно висеть в воздухе на одном и том же месте. Остальные понемногу уйдут вверх или вниз и упадут на пластины.

Любой материал (и металлы и диэлектрики) для любого напряжения от 1 вольт до 1000 вольт дает достаточное количество заряженных частиц, которые можно уравновесить электрическим полем. По скорости свободного падения всегда можно выбрать тяжелую или легкую частичку. До некоторой степени о том же можно судить по яркости свечения частички (диффракционная картина). Через несколько минут в поле зрения микроскопа остается лишь одна избранная частичка. Регулируя разность потенциалов, можно передвинуть ее в любое место конденсатора. Если конденсатор установлен строго горизонтально, боковых передвижений частички не наблюдается. В противном случае, при помощи винтов на ножках установки, конденсатор приводится к горизонтальному положению, и боковое движение частички прекращается.

Для наблюдения удобно выбирать частички со скоростью падения от 0,5 до 2 мм в секунду.

Определение электрического заряда частиц.

Есть две возможности изменять электрический заряд на маленьких частичках материи. Освещение их ультрафиолетовыми лучами может вызвать, так называемый, фотоэлектрический эффект, заключающийся в испускании материей отрицательных электронов. Каждое испускание одного электрона сопровождается уменьшением электростатического заряда на $4,774 \times 10^{-10}$ электростатических единиц, если частичка была заряжена отрицательно; заряд, наоборот, увеличивается на эту величину, если частичка была заряжена положительно, так как испускание положительной частичкой одного отрицательного электрона в электрическом смысле равноценно приобретению одного положительного заряда. Профессор А. Ф. Иоффе в своей работе ³⁾ доказал строгую закономерность такого элементарного фотоэлектрического эффекта и надежность этого способа воздействия на частичку.

Если материал частички не фотоэлектричен (не чувствителен к ультрафиолетовым лучам), тогда мы можем воздействовать на частичку препаратом радия, который своими излучениями вызывает сильную ионизацию воздуха между пластинами конденсатора, и частичка может или потерять, или приобрести несколько электронов. Практически операция сводится к поднесению препарата радия на короткое время к окошку конденсатора.

Всякое изменение заряда частички очень резко нарушает условие равновесия. Частичка начинает двигаться вверх или вниз. Приходится быстро подбирать новую разность потенциалов для получения нового равновесия.

Уравнение компенсации показывает, что произведение $V \cdot n$ должно все время оставаться постоянным, поскольку не меняется масса частички.

$$V_1 \cdot n_1 = V_2 \cdot n_2 = V_3 \cdot n_3 = \dots = V_m \cdot n_m = \text{const.}$$

³⁾ А. Ф. Иоффе. Там же.

Самый заряд может меняться только на величину целых электронов. Поясним на примере. Периодически освещаем частичку ультрафиолетовыми лучами. Время от времени заряд частички резко меняется, приходится каждый раз подбирать новую разность потенциалов. Получаем для компенсации целый ряд последовательных значений:

$$995,5 \quad 909,5 \quad 834 \quad 770,5 \quad 717 \text{ вольт.}$$

Сделаем предположение, что каждый раз частичка теряет по одному электрону, т.е., что мы пришли от 955,5 вольта к 717 вольтам, потерявши 4 электрона.

Напишем уравнение относительно неизвестного числа электронов в начале опыта:

$$995,5 \times n = 717 (n + 4).$$

Решение уравнения дает:

$$n = 2868 : 278,5 = 10,3 \text{ электрона.}$$

Подстановка ряда целых чисел, начиная с 10, и дальнейшие наблюдения, как это видно из таблицы 1, убеждают нас, что порядок числа электронов мы получили из уравнения правильно.

Таблица 1.

Разность потенциалов	Число электронов	Произведение	Разность потенциалов	Число электронов	Произведение
995,5	10	9,955	409,2	24	9,821
909,5	11	10004	400	25	10000
834	12	10008	358,5	28	10038
770,5	13	10016	347	29	10063
717	14	10038	333	30	9990
667,5	15	10012	308	33	10098
629	16	10064	286	35	10100
593	17	10070	278	36	10008
559	18	10081	264	38	10032
525	19	9975	251	40	10040
501	20	10020	230	42	10038
476,5	21	10006	233	43	10010
455	22	10010	227	44	9958
436	23	10028	222	45	10035

Для некоторых из наблюдений произведение заметно отличается от средней величины, что указывает на недостаточно точно произведенную компенсацию.

Возьмем случай отрицательно заряженной частички железа № 16/11 из моих наблюдений.

Таблица 2.

Разность потенциалов	Число электронов	Произведение	Разность потенциалов	Число электронов	Произведение
155	17	2635	320	8	2632
178	15	2670	378	7	2646
189,4	14	2652	440	6	2640
203,8	13	2649	518	5	2590
240,5	11	2645	656	4	2624
268	10	2680	86,5	3	2584

Можно идти дальше 3 электронов, т.е. оставить на частичке 2 и 1 электрон, а затем удалить и последний заряд, но тогда мы потеряем всякую власть над ней, нам нечем будет ее удерживать. Она упадет вниз, если только за время падения не успеет потерять еще один электрон и приобрести этим положительный заряд. Тогда ее можно было бы удерживать от дальнейшего падения, переключив полюса на конденсаторе. Описанный здесь метод определения электронов позволяет знать заряд частички в любой момент опыта с точностью до 1 электрона. Это в свою очередь дает возможность определить массу частички из уравнения компенсации. Например, для частички № 6/11 имеем следующие расчетные данные по формуле:

$$mg = \frac{V}{d} \cdot n \cdot e = 223,5 \text{ вольты:}$$

$n = 45$ электроном;

$$m = \frac{223,5 \times 45 \times 4,774 \times 10^{-10}}{0,413 \times 300 \times 981,0} = 3,95 \times 10^{-10} \text{ грамма.}$$

Материал частички—железо. Считая удельный вес равным 7,7, а форму частички шарообразной (в микроскоп видна только дифракционная картина, но не самая форма частички), мы можем вычислить примерный радиус ее:

$$\frac{3,95 \times 10^{-10}}{7,7} = \frac{4}{3} \pi r^3,$$

$$r = 1,07 \times 10^{-4} \text{ см} = 1,07 \text{ микрона.}$$

Для частички № 16/11 соответственно получим:

$$m = \frac{155 \times 17 \times 4,774 \times 10^{-10}}{0,413 \times 300 \times 981,9} = 1,03 \times 10^{-11} \text{ грамма,}$$

$$r = 0,684 \times 10^{-4} \text{ см} = 0,684 \text{ микрона.}$$

Только в случае капелек жидкости, или ртути, или частичек сплава Вуда, прошедших сквозь слой горячей и холодной воды, форма будет строго шаровая, и вычисленный радиус правильным. В данном случае 1,72 и 1,03 микрона дают нам лишь порядок линейных размеров частички.

Наблюдения скорости падения частиц.

Упомянутый раньше маятниковый автомат мог в нужную минуту уничтожать разность потенциалов на пластинах конденсатора на время в 1,126 сек. Лишенная поддерживающей электрической силы частичка падала вниз с равномерной скоростью и моментально останавливалась, как только автомат подавал напряжение. Незаметно было постепенного нарастания скорости в начале падения и замедления в конце.

Скорость падения маленьких шаровых частичек по закону Stokes-Cunningham'a выражается следующей формулой:

$$v = \frac{2}{9} \cdot \frac{g}{\mu} \cdot r^2 (d - d_0) \left(1 + A \frac{l}{r} \right),$$

где: g —ускорение силы тяжести (981,9 см/сек²),

μ —коэффициент внутреннего трения воздуха ($1,824 \times 10^{-4}$ дин.см²),

r —радиус шаровой частички в см,

d —плотность вещества, d_0 —плотность газа,

l —средняя длина свободного пути газовых молекул (для воздуха

$$l_{0,700} = 9,63 \times 10^{-6} \text{ см}),$$

A —коэффициент, который Milicaп принял равным 0,815.

Наблюдая скорости падения a , можно вычислить по этой формуле радиус частички, а зная плотность вещества, также и вес частички независимо от операции подсчета электронов, и определить заряд электрона, как искомую величину.

Так как в формуле Стокса радиус входит два раза, во второй степени в основной формуле Стокса и в первой степени в поправочном члене Куннингема $(1 + A \frac{v}{r})$, вычисление радиуса удобнее производить в два приема: сначала, в первом приближении, без поправочного члена $(1 + A \frac{v}{r})$, который вообще мало отличается от единицы, и затем, подставляя в поправочный член найденное приближенное значение r , находя r во втором приближении. Пример:

Частичка № 6/11 при свободном падении проходит 27 делений шкалы микроскопа по 0,005 см или 0,135 см в течение 1,126 секунды, откуда находим скорость:

$$v = 0,135 : 1,126 = 0,12 \text{ см в секунду.}$$

Подставляя в формулу Стокса (для поправочного члена величину $r = 1,07 \times 10^{-4}$ см, найденную раньше) получим $r = 1,1 \times 10^{-4}$ см (раньше из веса частички была получена $1,07 \times 10^{-4}$ см).

Скорость падения частички № 16/11 равна 8,2 делений шкалы микроскопа в 1,126 сек., откуда $v = 8,2 \times 0,005 : 1,126 = 0,0364$ см/сек.

Вычисление радиуса по формуле Стокса дает:

$$r = 0,6 \times 10^{-4} \text{ см,}$$

вместо $0,684 \times 10^{-4}$ см, полученных из электростатического взвешивания.

Таким образом, мы видим, что два совершенно различных метода наблюдений даже при неблагоприятных условиях (форма частиц далека от шаровой) дают почти одни и те же числа. Переход к большей точности потребует применения строго шаровых частиц (жидкость, ртуть, металл Вуда).

Точность метода и источники ошибок.

Весовые определения частиц в абсолютных единицах, на основании уравнения компенсации:

$$mg = \frac{v}{d} \cdot n \cdot e,$$

не требуют предварительного определения геометрических размеров и плотности.

Точность самой компенсации можно сделать сколь угодно большой, например, добиться, чтобы перемещение частицы, способной падать 20—30 делений в секунду, не превышало 1 деления за 100 секунд. Поэтому практическая точность будет зависеть от точности измерения разности потенциалов v и фактического расстояния между пластинами конденсатора иначе говоря, от определения градиента поля.

Наблюдаются, кроме того, помехи со стороны тепловых явлений, но не конвекционные, которые обычно отсутствуют. Их можно отнести скорее к элементарному эффекту Крукса.

Нагревание верхней пластины (рис. 2) в то время, как нижняя оставалась при неизменной температуре, вызывало появление действия на частичку сверху вниз, кажущееся увеличением веса, которое приходилось компенсиро-

вать увеличением поддерживающего градиента поля. Конвекционные явления отсутствовали, и во всяком случае они должны были бы иметь противоположное направление.

В качестве примера привожу наблюдения над частичкой размерами меньше 1 микрона, прошедшей при свободном падении 7 делений шкалы в 1,126 секунды или 0,0312 см в секунду. До начала опыта частичка была уравновешена 89 вольтами.

Изменения режима равновесия в зависимости от нагревания верхней пластинки в течение 1 часа 35 минут показано на рис. 3. Максимальное действие такого „теплового давления“ — около 10% от веса частички, при разности температур в 120° С.

Отсюда можно вывести, что неодинаковая температура верхней и нижней пластины порядка 1 градуса могла вызывать погрешности в компенсации около 0,1%.



Рис. 2.

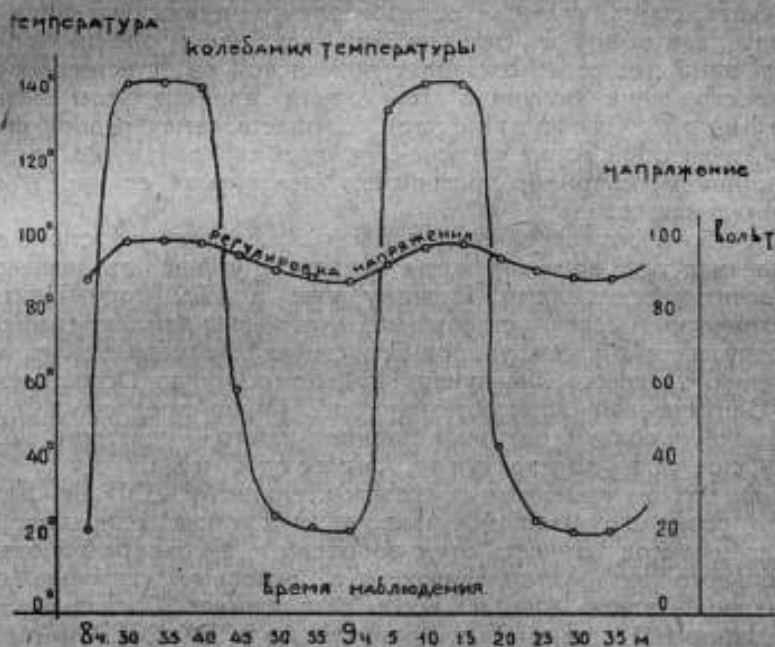


Рис. 3.

Полагая дальше точность измерения величины v в 0,1 вольта, величины d в 0,01 мм, — величина e известна с точностью 0,1%, — получим среднюю практическую точность метода в 0,5%.

З а к л ю ч е н и е.

1. Описана установка и метод электростатического взвешивания частиц размерами от 0,5 до 2 микрон и весом от 10^{-12} до 10^{-11} грамма.
2. Указана область применения метода и практически достижимая точность в 0,5%.
3. Описан особый случай теплового действия на мельчайшие частицы.

СВЕТОВЫЕ ЭТАЛОНЫ СССР

М. А. Шателен

До последнего времени в СССР не было легально установленных световых единиц. Однако, необходимость характеризовать каким-либо образом силу света ламп, главным образом электрических, заставила на практике принять какую-нибудь единицу. Так как наша электропромышленность была наиболее тесно связана с германской, то, естественно, наибольшее распространение получила германская единица, так называемая, „свеча Гефнера“ (Hefnerkerze), осуществляемая особой фитильной лампочкой, в которой горит уксусно-амиловый эфир. Иногда применялись и другие единицы, например, английская (пентановая единица), французская (децимальная свеча).

Неудобство неопределенности и разнообразия единиц стало особенно ощутительным с того времени, когда началось у нас развиваться изготовление электрических ламп. Поэтому уже в 1922 году Центральный Электротехнический Совет, устанавливая нормы для ламп, предложил выражать их силу света в „международных свечах“, определяемых, согласно постановлению конгресса Международной Комиссии по Освещению. Одновременно Центральный Электротехнический Совет предложил применять и другие международные световые единицы, как-то — единицы „освещенности“, „светового потока“, „яркости“ и др.

Однако, все же узаконенных световых единиц в СССР не было.

В виду резко ощущавшейся надобности в таких единицах, Главная Палата мер и весов занялась этим вопросом и ею был разработан проект законодательного акта, устанавливающего основные световые единицы. Проект Главной Палаты мер и весов был принят Президиумом ВСНХ СССР, и изданным 13 мая 1925 г. приказом по ВСНХ СССР приняты были для СССР основные световые единицы, установленные конгрессом Международной Комиссии по Освещению. Этим же приказом на Главную Палату возлагалась обязанность хранить световые эталоны, согласно международным соглашениям.

Таким образом, перед Главной Палатой стала задача осуществления принятых единиц, т.е. изготовления световых эталонов и, прежде всего, силы света и светового потока. Кроме того, Главная Палата должна была разработать методы хранения эталонов и методы сравнения с этими основными эталонами вторичных, предназначенных для нужд техники и промышленности. В настоящее время Главной Палатой выполнена первая половина задачи: в фотометрической лаборатории Главной Палаты, под общим наблюдением проф. М. А. Шателена, метрологом П. М. Тиходеевым, при участии лаборантов Е. Д. Девятковой и А. М. Сабуренкова, изготовлен и выверен, согласно международным соглашениям, эталон силы света, утвержденный Метрологическим Советом Палаты (апрель, 1926 г.).

Установлены и методы сравнения этого основного эталона с рабочими эталонами.

Эталон силы света СССР осуществляется, согласно международному соглашению, группой электрических ламп накаливания (из 24 ламп). Для эталона СССР взяты пустотные лампы с вольфрамовой и угольной нитью, изготовленные частью в Англии, частью в Германии и Франции. Все лампы, образующие эталон, были тщательно промерены в National Physical Laboratory (1925 г.) в Англии и в Laboratoire Central d'Electricité (1924 г.) во Франции.

Затем эти лампы в фотометрической лаборатории Палаты были промерены и сверены между собою, по возможности, при тех же условиях питания электрическим током, при которых они исследовались в лабораториях Англии и Франции.

В статье П. М. Тиходеева¹⁾ подробно излагается весь процесс сравнения ламп, выверка применявшихся электрических измерительных приборов, методы вычисления, способы внесения поправок и т. п.

Групповой эталон СССР воспроизводит принятое (для СССР) значение международной свечи с точностью до 0,04%. Каждая из ламп, образующих групповой эталон, воспроизводит единицу силы света СССР с точностью до 0,2%.

Как видно из статьи П. М. Тиходеева, разница между величиной международной свечи, воспроизводимой русским эталоном и величинами международной свечи, воспроизводимой английскими и французскими эталонами, равняется соответственно $+0,5\%$ и $-0,5\%$.

Различие того же порядка между английскими и французскими эталонами обнаружено и при сравнении с ними американского эталона (в Bureau of Standards в 1296 г.)

Таким образом, СССР в настоящее время обладает эталоном силы света, воспроизводящим международную свечу с той же степенью точности, с которой эта свеча воспроизводится эталонами других стран.

В ближайшее время фотометрическая лаборатория Главной Палаты приступит к сравнению со своим эталоном образцовых ламп, полученных из Bureau of Standards и Electric Testing Laboratory в Соединенных Штатах. Эти сравнения дадут возможность установить соотношение эталона СССР с американским. Кроме эталона силы света, фотометрической лаборатории предстоит установить эталон светового потока (эталон люмена). Эта работа уже почти закончена и в ближайшем будущем эталон будет представлен на утверждение Метрологическому Совету.

¹⁾ П. М. Тиходеев. "Установление светового эталона СССР", стр. 160 настоящего выпуска "Вестника Главной Палаты".

УСТАНОВЛЕНИЕ СВЕТОВОГО ЭТАЛОНА СССР.

П. М. Тиходеев.

Действующее постановление о световом эталоне.

Согласно „Правилам о световых измерениях“, утвержденным Президиумом ВСНХ СССР от 13 мая 1925 г. (приказ № 815), эталоны силы света, хранимые в Главной Палате мер и весов, должны быть выверены в соответствии с международными соглашениями. Под последними следует понимать то постановление Конгресса Международной Комиссии по Освещению 1921 г., которое, установив размер международной свечи таким, каким он был принят в 1909 г. по соглашению между национальными метрологическими лабораториями Франции, Великобритании и Соединенных Штатов Америки, возложило обязанность хранения единицы силы света на те же лаборатории.

Отсюда вытекает, что Главная Палата мер и весов может получить точный размер международной свечи для своего основного светового эталона от любой из лабораторий — хранильниц. Следует иметь в виду, что единицы силы света, хранимые Францией, Англией и Соединенными Штатами Америки, по размеру равны между собой лишь в некоторых пределах точности световых измерений. Каждая из этих лабораторий применяет несколько разные способы измерений. Поэтому (а также и по другим причинам) сравнение единиц различного происхождения, т. е. воспроизводимых хотя бы одними и теми же лампами, но выверенными в разных лабораториях, в пределах одной лаборатории при достаточно высокой точности измерений может давать то или иное расхождение. Возникает в связи с этим вопрос, что следует принимать за точное значение единицы силы света. Международное соглашение, которое надо понимать в том смысле, что каждая из лабораторий — хранильниц имеет самостоятельный световой эталон, ответа на этот вопрос не дает. Совершенно естественно для Главной Палаты мер и весов СССР принять за истинное значение международной свечи либо: 1) среднее между размером английской и французской единиц силы света, либо 2) среднее значение между размерами единиц всех трех лабораторий. Каждое из этих решений, строго говоря, не является обязательным, а лишь — условным. Первое решение позволяет установить контакт с двумя европейскими метрологическими лабораториями, именно тех двух стран — Франции и Англии — которые и создали международную свечу, так как Америка размер этой свечи взяла от них. Поэтому оно является более правильным.

По этим соображениям световой эталон Главной Палаты мер и весов, именно, и составлен ныне из двух групп: английской и французской.

Понятие о световом эталоне.

Световой эталон СССР—это совокупность 24-х электрических пустотных ламп накаливания с вольфрамовой, а у двух ламп—с угольной нитью. Помощью их хранится и воспроизводится единица силы света—международная свеча. Для этого через нить лампы пропускается электрический ток, величина которого определяется заданным напряжением, измеряемым у цоколя лампы. Сила света измеряется на расстоянии от лампы, выбранном в некоторых узких пределах. Среднее—арифметическое—значение из единиц силы света, воспроизводимых каждой из 24-х ламп и есть точное значение международной свечи для Союза ССР.

Устройство данных эталонных электрических ламп отличается от обычных промышленных, притом не только особой тщательностью изготовления, но и особым способом расположения нити накала—в одной плоскости; имеются также и некоторые другие отличия—в способе подвески нити, в стеклянных опорах и проч.

Световой эталон СССР, как уже указывалось, состоит из двух групп: I—английская и II—французская.

I группа состоит из 12 ламп. Они были изготовлены по заказу Главной Палаты мер и весов в конце 1924 года в Англии заводом „Osram“ фирмы General Electric Co Ltd. В январе месяце 1925 года лампы были сличены с эталоном международной свечи фотометрической лаборатории National Physical Laboratory. В марте месяце 1925 г. они были привезены в фотометрическую лабораторию Главной Палаты мер и весов.

II группа состоит также из 12 ламп. Шесть из них были изготовлены по заказу Главной Палаты мер и весов в 1923 году в Германии на заводе „Osram“ фирмы Osram G. m. b. H. Kommanditgesellschaft в Берлине. Остальные шесть были приобретены в 1923 году во Франции в Laboratoire Central d'Electricité. Все они сличены с эталоном международной свечи Laboratoire Central d'Electricité в январе месяце 1924 г. В марте месяце 1924 г. эта II группа была сличена с эталоном международной свечи National Physical Laboratory.

Установление эталона.

Задача установления эталона Главной Палатой мер и весов ближайшим образом сводится к тому, чтобы: 1) найти среднее значение единицы силы света по английским лампам, 2) найти среднее значение единицы по французским лампам, 3) найти среднее значение из английской и французской единиц и 4) приняв это последнее за русскую единицу, выразить в ней силу света каждой из 24 ламп, составляющих эталон. Все это необходимо согласовать со способом хранения светового эталона. По решению фотометрической лаборатории Главной Палаты мер и весов способ хранения основного эталона в главнейшем состоит в том, что последний хранится по определенным правилам без употребления в течение длительного промежутка времени. Лаборатория же пользуется для обычных точных работ копиями с него—так называемым вторичным эталоном, который сверяется с основным через надлежащие промежутки времени¹⁾. Таким образом, при первой работе по установлению эталона целесообразно озвоботиться изготовлением вторичных эталонов. Это и было сделано.

Ниже приводится описание исполненных работ, потребовавшихся установленными выше задачами, и достигнутые итоги. Эти работы состоят в главнейшем: 1) из электрических измерений, 2) из световых измерений и 3) из измерений расстояний. Эти измерения были выполнены в течение 6 дней: 31 октября, 1, 2, 4, 6 и 11 ноября 1925 г.

¹⁾ По установленному плану—1 год.

Электрические измерения.

Сила света изменяется, приблизительно, пропорционально 3,7 степени напряжения для вольфрамовых ламп и 5,7 степени для угольных ламп. Отсюда следует, что электрические измерения должны быть более точны, чем световые.

Как из соображений лучшего поддержания постоянного напряжения у ламп, так и по причине большей точности электрических измерений в цепях постоянного тока, именно этот последний ток применяется для питания эталонных ламп. Источником постоянного тока служила аккумуляторная батарея. На протяжении всей работы (6 рабочих дней) аккумуляторная батарея обслуживала только ее. Разрядная емкость батареи около 500 ампер-часов. Благодаря такой емкости, а также и благодаря тому, что был выбран для работы такой период разряда, когда напряжение наиболее устойчиво,—установленное в начале измерения каждой лампы нужное напряжение не менялось, или менялось весьма незначительно, на протяжении времени ее измерения. Для большей легкости и плавности регулирования напряжения у ламп в цепь эталонной лампы и двух ламп сравнения¹⁾ были включены реостаты. Их сопротивления, схемы включения и способ пользования были так подобраны, что легко можно было менять напряжение скачками, примерно, в 10 раз меньшими, чем это мог чувствовать потенциометр.

Измерение напряжения производилось потенциометром, при чем непосредственно у ламп были присоединены делители напряжения в 100 000 омов у эталонной лампы и в 50 000 и 30 000 омов у ламп сравнения. Сопротивление соединительных проводников от лампы до делителя равнялось 0,012 ома. Один потенциометр был применен для измерения напряжения у эталонной лампы. Другой потенциометр—у двух ламп сравнения. Оба имеют сопротивление в 11 000 омов. Третий потенциометр с сопротивлением в 80 омов применялся в цепи эталонной лампы для измерения силы тока. Сила тока у ламп сравнения измерялась тем же потенциометром, который мерил у них напряжение, для чего в схеме имелся соответственный переключатель.

Нетрудно видеть, что наличность такого числа потенциометров позволяла непрерывно следить за напряжением у ламп, для чего потенциометр и гальванометр его были включаемы на все время измерений данной эталонной лампы. Гальванометры к потенциометрам были так подобраны, что получалась схема с весьма большой чувствительностью. Так: 1) гальванометр у потенциометра, меряющего напряжение эталонной лампы, отклонялся почти на 5 мм по шкале при изменении отсчета по потенциометру на единицу последнего деления, 2) гальванометр у потенциометра для измерения силы тока эталонной лампы отклонялся на 2 мм, 3) гальванометр у потенциометра при измерении напряжения у ламп сравнения отклонялся на 1 мм на единицу последнего деления потенциометра и 4) тот же гальванометр отклонялся на 1,5 мм при измерении силы тока ламп сравнения.

Емкость и период разряда аккумуляторов, питающих измерительные цепи потенциометров, были так подобраны, что сила тока в этой цепи не изменялась ощутимым образом на протяжении почти часа. Это позволяло сличать потенциометр с нормальным элементом лишь в начале измерений каждой лампы.

Нормальный элемент имелся у каждого потенциометра. Кроме того, имелся еще один запасный элемент, которым время от времени проверя-

¹⁾ О них ниже.

лись рабочие нормальные элементы. Нормальные элементы Вестона, изготовленные лабораторией нормальных элементов Главной Палаты мер и весов и выверенные на протяжении длительного времени в эталонной электрической лаборатории, оказались вполне благонадежными.

Нормальные сопротивления—по одному ому—в цепях каждой лампы, т.е. эталонной и двух ламп сравнения, были выверены в эталонной электрической лаборатории.

Делитель напряжения у эталонной лампы¹⁾ и все три потенциометра были проверены фотометрической лабораторией.

Надежность изоляции и влияние утечек по потенциометрическим цепям проверялись следующим образом. Находилось положение равновесия гальванометра в четырех случаях—1) нормальный элемент отключен от потенциометра, напряжение в измерительной цепи отсутствует, 2) нормальный элемент отключен, напряжение в измерительной цепи и на потенциометре имеется, 3) нормальный элемент включен на уравновешенный потенциометр, напряжения в цепи нет и 4) нормальный элемент включен, напряжения в сети есть. Оказалось, что влияние утечек исчезающе мало.

Точность всех электрических приборов показана в приложении I-м. В общем, напряжение измерялось с относительной точностью (внутри-лабораторной), по крайней мере, около $\pm 0,004\%$. Однако, по отношению к международному значению электрических единиц обеспеченной точностью следует считать лишь $\pm 0,005\%$ (так как сверка некоторых электрических приборов, выполняемая вне фотометрической лаборатории, еще не закончена и точная поправка к делителю напряжения еще не выяснена). Сила тока измерялась с точностью $\pm 0,005\%$. Она могла бы измеряться и с большей точностью, но следует иметь в виду, что ток несколько меняется у лампы в первое время горения ее после включения. Обыкновенно, сила тока измерялась через 10—20 минут после начала включения; на пять минут раньше или позже этого сила тока может иметь значение, отличающееся, примерно, не более, чем на $0,002\%$.

Итак, ошибки в электрических измерениях лежали далеко за пределами влияния на точность световых измерений (см. ниже).

Световые измерения.

Сила света измерялась на фотометрической скамье фирмы Шмидт и Генш в Берлине. Был применен контрастный фотометр Люммера и Бродгуна, изготовленный той же фирмой.

Эталонная лампа, как основного эталона, так и вторичного, устанавливалась неподвижно. Фотометр перемещался вместе с лампами сравнения для нахождения положения светового равенства.

Оборудование фотометрической скамьи было усовершенствовано фотометрической лабораторией в устройстве затенения помощью занавесок и ставень, в облегчении перемещения тележки и в некоторых других отношениях.

Применение двух ламп сравнения²⁾ (вместо обычной одной) является одной из особенностей способов точных световых измерений, применяемых фотометрической лабораторией. Они имеют несколько неодина-

¹⁾ Точность делителей у ламп сравнения не имела значения. Один из них был проверен в фотометрической лаборатории и оказался не требующим поправок в пределах $\pm 0,01\%$.

²⁾ Предложено автором.

ковый по окраске спектр и дают немного (\cong на 2%) разную освещенность на экране фотометра.

Благонадежность световых измерений ближайшим образом зависит от качества ламп сравнения. От них требуется постоянство силы света. Ясно, что на две лампы сравнения полагаться в этом отношении осторожнее и, соответственно, изменение силы света за время работы легче подсчитать. Некоторая разница в освещенности от каждой из двух ламп сравнения, при том с несколько разными спектрами заставляет наблюдателя делать две разные установки фотометра. Это почти равносильно тому, как если бы было произведено новое световое измерение. Две лампы сравнения позволяют также иметь некоторую перестраховку на случай порчи одной из них. Кроме того, по двум лампам сравнения легко проследить устойчивость свойств глаза наблюдателя.

Фотометрическая лаборатория Главной Палаты мер и весов первоначально предполагала применить для ламп сравнения лампы своего особого устройства. Но выполнение их задержалось. Поэтому, были применены обычные лампы фирмы Osram в Берлине. Они были предварительно отожжены в течение около 200 часов при напряжении 120 вольт. Работали же они при напряжении 107,000 вольт. Силы света их в начале работы равнялись 27,27 и 27,93 свечам при удельном потреблении 1,440 и 1,412 $\frac{\text{watt}}{\text{л.м.св.}}$ поперечной силы света. За все время работы (32 часа) сила тока одной лампы изменилась на 0,05% и другой — на 0,008%.

Измерения всех эталонных ламп, а равно и вторичных эталонов, в совокупности захватывает такое время, на протяжении которого лампы сравнения несколько теряют в своей силе света. Так как эта потеря по своей величине незначительна и в численном отношении одного порядка с точностью малого числа световых измерений, то учет ее потребовал следующего. Десять эталонных ламп измерялись дважды через промежутки времени от 8,7, до 17,6 часов, в предположении, что в среднем при повторных измерениях сила света всех десяти ламп не изменилась, и было учтено ослабление силы света ламп сравнения (подробности см. в приложении 3-м).

Для получения большей устойчивости в силе света ламп сравнения они зажигались на час раньше производства световых измерений и горели без перерыва в течение измерений данного рабочего дня.

Положение светового равенства определялось по способу, предложенному автором. Способ заключается в том, что определяются те положения фотометра, при которых начинает ощущаться нарушение светового равенства. Таким образом, вместо того однократного или двойного контраста, который имеется в поле зрения обычного контрастного фотометра Люммера и Бродгуна, здесь фотометр устанавливается почти что по четверному контрасту, что значительно облегчает работу наблюдателя и увеличивает точность измерений. При этом особые приемы пользования глазами были применены для того, чтобы ослабить ошибки наблюдений, вызываемые физиологическими свойствами зрения.

Каждая эталонная лампа сравнивалась одним наблюдателем с каждой лампой сравнения не менее десяти раз; иногда это число доходило до 18.

Как общее правило, отчет на фотометрической скамье производил не тот наблюдатель, который находил положение светового равенства фотометром. Этому последнему отчеты не были известны до окончания ряда наблюдений.

Та комната фотометрической лаборатории, где производятся точные световые измерения, окрашена в черный цвет. Дабы сделать все поле зре-

ния наблюдателя однородно темным, были применены также черные ставни (ширмы), а светло-окрашенные предметы в комнате были покрыты черным покрывалом. Эта обстановка измерений делала также исчезающе малым попадание постороннего света на экран фотометра, что определялось по полной темноте на экране фотометра при потухании эталонной лампы или при затенении прямых лучей от нее на экран.

Число наблюдателей, находивших положение светового равенства, было двое. Их чувствительность к окраске света различна. При этом один наблюдатель имеет чувствительность достаточно близкую к средней для многих людей. У другого наблюдателя чувствительность отлична от многих людей. Расхождение в оценке силы света двух ламп ¹⁾ этими наблюдателями, обыкновенно, около 2,2% при сравнении почти одноцветных спектров и дошло однажды до 4% при разноцветных. Это расхождение является систематическим и потому легко, но не в полной мере, исключается. Оказалось, именно, что единица силы света по измерениям только одного наблюдателя отличается от таковой, оцененной, как средняя, для двух наблюдателей, всего лишь на 0,001%.

Порядок, в котором чередовались измерения английских и французских эталонных ламп, а также и вторичных эталонов не имеет какого-либо существенного значения. Поэтому он был выбран с учетом различных побочных причин.

Устойчивость силы света ламп при повторных измерениях является весьма важным их свойством. Дабы ее определить, восемь ламп английской группы и пять ламп французской были измерены дважды. Оказалось, что единица силы света, воспроизводимая этими тринадцатью лампами, отличается всего лишь на 0,04% от принятого для нее размера по всем 24 лампам ²⁾. Но разница в силе света для каждой лампы, конечно, больше,—именно, достигает в среднем 0,2% ³⁾ по отношению к среднему значению из двух наблюдений (см. приложение 3-е). Но и эта разница лежит в пределах случайных ошибок наблюдений.

Доброкачественность ламп определялась также по просвечиванию их в сильном электрическом поле, создаваемом трансформатором Тесла. Большинство ламп показало очень хорошее разрежение. Меньшинство—практически допустимое (голубовато-зеленое свечение; см. ведомость I) ⁴⁾.

Сила тока, измеренная фотометрической лабораторией Главной Палаты мер и весов, совпадает в пределах точности с данными National Physical Laboratory и Laboratoire Central d'Electricité (см. ведомость II). Для тех ламп, у которых обнаруживается незначительное расхождение в силе тока, разрежение оказывается вполне удовлетворительным—свечение отсутствует.

¹⁾ Эталонной лампы с лампой сравнения.

²⁾ К этому, однако, нужно относиться с некоторой осторожностью, так как для учета падения силы света ламп сравнения средние данные повторного измерения десяти ламп были приравнены к средним данным первого их измерения. Если бы пренебречь ослаблением силы света ламп сравнения—что, конечно, делать не следует,—то оказалось бы, что единица силы света, воспроизводимая тринадцатью лампами, при повторном измерении отличается на 0,10% от среднего размера для первого и повторного измерений.

³⁾ Арифметическое среднее.

⁴⁾ Следует отметить, что данный трансформатор питался переменным током в 50 периодов. Соответственные импульсы получало и электрическое поле, благодаря чему нити в лампах дрожали. Дабы свести это до ничтожных размеров, сила поля соответственно ослаблялась. Картина все же, в общем, получалась вполне отчетливой. Лишь в некоторых случаях не легко было отличить голубовато-зеленоватое свечение газа в колбе от люминесценции стекла. Однако, такое свечение само по себе не опасно.

Ведомость I.

Просвечивание эталонных ламп в электрическом поле.

Английская группа		Французская группа	
Метка лампы	Свечение	Метка лампы	Свечение
1-А-1	Сильное голубое (наибольшее по сравнению с другими лампами).	1-Ф-1	Свечение не обнаружено.
1-А-2	Свечение не обнаружено.	1-Ф-2	
1-А-3		1-Ф-3	
1-А-4		1-Ф-4	
1-А-5		1-Ф-5	
1-А-6		1-Г-6	
1-А-7		1-Г-1	
1-А-8		Сильное голубоватое.	1-Г-2
1-А-9	Свечения нет.	1-Г-3	
1-А-10	Слабое голубовато-зеленое.	1-Г-4	
1-А-11	Свечения нет.	1-Г-5	
1-А-12	Слабое голубовато-зеленое.	1-Г-6	

Ведомость II.

Сила тока в эталонных лампах; амперы

Английская группа				Французская группа					
Метка лампы	Измерено		Разница в % от данных фотом. лаборат. Главной Палаты мер и весов	Метка лампы	Измерено		Разница в % от данных фотом. лаборатории Главной Палаты мер и весов		
	Фотом. лаборат. Главной Палаты мер и весов	Nat. Phys. Lab.			Labor. Centr. d'Electr.	Nat. Phys. Lab. 1)	для L. S. E.	для N. P. L.	
1-А-1	0,2858 ₇	0,2858	-0,0 ₂₈	1-Ф-1	0,3724 ₉	0,372	0,372 ₉	-0,1 ₁	-0,0 ₉
1-А-2	0,2873 ₇	0,2874	+0,0 ₁₈	1-Ф-2	0,6332 ₁	0,633	0,632 ₉	-0,0 ₃	-0,0 ₉
1-А-3	0,2871 ₁₁	0,2871	-0,0 ₃₈	1-Ф-3	0,6368 ₆	0,636	0,636 ₉	-0,0 ₁	+0,0 ₁
1-А-4	0,2869 ₈	0,2869	-0,0 ₂₈	1-Ф-4	0,2915 ₉	0,291	0,291 ₆	-0,20	-
1-А-5	0,2869 ₁	0,2868	-0,0 ₂₈	1-Ф-5	0,2929 ₇	0,292	0,292 ₁	-0,0 ₂	-
1-А-6	0,2881 ₂	0,2881	-0,0 ₃₇	1-Ф-6	0,6947 ₆	0,694	0,694 ₃	-0,1 ₉	-0,0 ₆
1-А-7	0,2864 ₁	0,2864	+0,0 ₃₄	1-Г-1	0,2679 ₁	0,2675	0,267 ₃	-0,1 ₉	-0,0 ₈
1-А-8	0,2856 ₄	0,2856	-0,0 ₁₄	1-Г-2	0,2675 ₀	0,2675	0,267 ₅	-0,0 ₂	-0,0 ₃
1-А-9	0,2884 ₄	0,2885	+0,0 ₂₁	1-Г-3	0,4044 ₆	0,405	0,405 ₁	+0,1 ₄	+0,1 ₄
1-А-10	0,2880 ₃	0,2880	-0,0 ₁₃	1-Г-4	0,4055 ₁	0,404	0,405 ₉	-0,3 ₈	-0,0 ₃
1-А-11	0,2872 ₂	0,2872	-0,0 ₃₇	1-Г-5	0,6516 ₅	0,6515	0,651 ₅	-0,0 ₂	-0,0 ₃
1-А-12	0,2892 ₉	0,2891	-0,0 ₃₄	1-Г-6	0,6523 ₃	0,6525	0,652 ₂	+0,0 ₃	-

Следует отметить, что сила света ламп с вольфрамовой нитью изменяется приблизительно пропорционально 1,6 степени потребляемой мощности. Следовательно, изменение силы тока на 0,04% при неизменном напряжении, как это найдено, например, для ламп 1-А-5 и 1-А-12, могло бы

1) Для силы тока тех ламп, которые измерялись в N. P. L. при ином напряжении, введена поправка, дабы привести ее к тому же напряжению, что имело место при измерениях в фот. лаб. Гл. Палаты. Считалось, что сила тока вольфрамовых ламп изменяется пропорционально 0,6 степени напряжения, а угольных—1,0-ой.

изменить силу света всего лишь на $0,0\%$. В виду того, что Laboratoire Cental d'Electricité измеряло силу тока со значительно меньшей точностью, чем фотометрическая лаборатория Главной Палаты мер и весов, не представляется возможным придавать какое-нибудь значение расхождению в измерениях силы тока для ламп 1-Ф-4 и 1-Г-4.

Каких-либо следов наружных повреждений у ламп не обнаружено.

Все это в совокупности позволяет считать, что эталонные лампы ощутимо не изменились по сравнению с тем, какими они являлись во время измерения их в Англии и Франции.

Совпадение в значении единицы силы света по измерениям фотометрической лаборатории Главной Палаты мер и весов и по измерениям английской и французской лабораторий может ослабляться следующими обстоятельствами.

1) Эталонная лампа по существу дела воспроизводит определенную освещенность. То, что называется силой света, в данном случае ¹⁾ есть лишь коэффициент для пересчета численного значения освещенности применительно к разным расстояниям от лампы. Этот коэффициент не есть величина постоянная для разных расстояний. Фотометрическая лаборатория Главной Палаты мер и весов производит световые измерения при освещенности в 15 люксов на экране фотометра. Фотометрическая лаборатория National Physical Laboratory измеряет при освещенности в 10 люксов. Относительно Laboratoire Cental d'Electricité определенных указаний пока нет. Таким образом, сила света в разных лабораториях оценивается в разной обстановке. Выяснить эту разницу по многим причинам пока не представляется возможным. Однако, для условий измерений Главной Палаты мер и весов и National Physical Laboratory разность едва ли превзойдет $0,1\%$ — $0,2\%$. Знак отклонения остается неопределенным.

2) Освещенность на экране от эталонной лампы всегда усиливается черной бархатной занавеской, расположенной позади лампы. Усиление это незначительно, но оно все же может быть порядка $0,1\%$ ²⁾ и зависит, конечно, как от свойства бархата, так и от других причин. Учет поправки вполне возможен, но он не производится ни в какой лаборатории. Поэтому оценка силы света разными лабораториями может несколько отличаться.

3) Экран фотометра должен быть совершенно белым ³⁾. В действительности, это трудно и достичь и проверить. Ни одна лаборатория пока не придает этому значения. При измерениях одноцветных по свету ламп, каковыми являются английские, окраска экрана не влияет. Но при измерениях ламп с разным спектром, а такими оказываются лампы французской группы, окраска экрана начинает влиять. Влияние может оцениваться, как порядка до $0,2\%$ или даже больше. Знак поправки может оставаться неопределенным.

Экран фотометра Главной Палаты мер и весов был особо проверен. Было найдено, что он не является совершенно белым. Возникающая вследствие этого ошибка при сравнении ламп угольной и вольфрамовой (с наиболее высокой световой отдачей) доходит до $+0,0\%$ по отношению к угольной лампе ⁴⁾. Соответственная поправка, однако, не вводилась. Во-первых, потому, что она лежит в пределах точности световых изме-

¹⁾ А не вообще.

²⁾ Для установки фотометрической лаборатории Главной Палаты мер и весов усиление составляет $0,01\%$. Коэффициент отражения бархата по соответственным измерениям оказался равным $0,1\%$.

³⁾ Т.е. одинаково отражать лучи света всех длин волн.

⁴⁾ Спектрофотометрическое исследование экранов, произведенное Е. Д. Десятковым, печатается особо.

рений угольных ламп. Во-вторых, потому, что остается неопределенным, насколько такая поправка делает более достоверным точный размер международной свечи, воспроизводимый Главной Палатой мер и весов, по сравнению с таковым тех метрологических лабораторий, у которых он взят.

4) Оптическая система фотометра должна быть идеально бесцветной. Точная проверка бесцветности сопряжена с некоторыми трудностями. Пока этому не придает значения ни одна лаборатория. Ощутимых недостатков в отношении бесцветности в фотометре, применявшемся для работы, не найдено.

Измерение расстояний.

Особый держатель для эталонных ламп был устроен фотометрической лабораторией. Он позволял плавно перемещать лампу и поворачивать ее в любое положение. Благодаря этому отклонения плоскости нитей от строго перпендикулярного положения ее к светомерной оси не превосходит $+30'$, что могло изменять освещенность на фотометрическом экране не более $+0,01\%$.

Установка плоскости нитей лампы в правильное положение по отношению к светомерной оси и по отношению к шкале скамьи производилась с помощью отвесов. Направляющие трубки скамьи, по которым перемещается фотометр, установлены в горизонтальном положении по уровню.

Шкала скамьи была проверена эталонной лабораторией мер длины. Поправки для тех мест, где производились отчеты, не превосходили 0,20 м.м.

Положение плоскости экрана относительно шкалы скамьи было проверено по отвесам. Соответствующая поправка вводилась во все вычисления¹⁾. Положение экрана относительно плоскости, перпендикулярной к светомерной оси, было также выверено по отвесу.

Сопоставление измерений фотометрической лаборатории Главной Палаты с данными N. P. L. и L. C. E.

Сравнение единицы силы света, взятой, как среднее, для английских ламп по данным N. P. L., с единицей силы света, определенной по французским лампам и по данным L. C. E., показало между ними некоторую разницу. Среднее (арифметически) значение из размера этих единиц, принятое за точное значение единицы силы света — международной свечи — для СССР больше английской единицы силы света на $0,586\%$ и на такую же величину меньше французской единицы силы света.

Сопоставление измерений Фотометрической Лаборатории Главной Палаты мер и весов с данными N. P. L. и L. C. E. приведено в ведомости III.

National Physical Laboratory в сертификатах на лампы определяет точность своих измерений в $\pm 1/4\%$ для каждой. Средняя — квадратичная — ошибка измерений фотометрической лаборатории Главной Палаты мер и весов (см. ниже) для одной английской лампы доходит до $+0,24\%$. Таким образом, для семи английских ламп (см. ведомость III а) разница в измерениях фотометрической лаборатории Главной Палаты мер и весов с данными сертификатов N. P. L. полностью лежит в пределах точности измерения обеих лабораторий для одной лампы. Разница для остальных пяти ламп может быть достаточно удовлетворительно объяснена либо теми затруднениями в межлабораторном сравнении измерений, о которых упоминалось ранее (см. стр. 167), либо случайной ошибкой наблюдений в той или другой лаборатории (или в обеих).

¹⁾ Эта плоскость оказалась на 1,4 м.м. ближе к эталонной лампе, чем черта на указателе фотометра.

Ведомость III а.

Сопоставление измерений фотометрической лаборатории Главной Палаты с данными National Physical Laboratory.

Английская группа светового эталона.

Метка лампы	С и л а с в е т а		Отклонения в данных сертификата N. P. L. от измерений фотом. лаб. Гл. Пал.; %
	по сертификату N. P. L.; м. св.	по измерениям фотом. лаб. Гл. Пал. в английск. единицах; м. св.	
1-А-1	20,14	20,17	-0,14
1-А-2	10,84	10,95	-0,55
1-А-3	20,64	20,65	-0,05
1-А-4	20,18	20,19	-0,05
1-А-5	20,20	20,10	+0,50
1-А-6	20,42	20,44	-0,10
1-А-7	19,52	19,49	+0,15
1-А-8	19,94	19,84	+0,50
1-А-9	21,30	21,24	+0,28
1-А-10	20,78	20,82	-0,19
1-А-11	20,10	20,17	-0,35
1-А-12	20,44	20,45	-0,05

Среднее арифметическое отклонение для одной лампы . $\pm 0,24$

„ квадратичное „ „ „ „ „ $\pm 0,32$

„ вероятное „ „ „ „ „ $\pm 0,21$

Ведомость III б.

Сопоставление измерений фотометрической лаборатории Главной Палаты с данными Laboratoire Central d'Electricité.

Французская группа светового эталона.

Метка лампы	С и л а с в е т а		Отклонения в данных сертификата Lab Cent. d'El. от измерений фотом. лаб. Гл. Пал.; %
	по сертификату L. C. E.; м. св.	по измерениям фотом. лаб. Гл. Пал. в франц. единицах; м. св.	
1-Ф-1	9,85	10,03	-1,70
1-Ф-2	50	49,20	+1,44
1-Ф-3	50	48,94	+2,16
1-Ф-4	19,5	19,63	-0,66
1-Ф-5	19,5	19,32	+0,93
1-Ф-6	20,05	20,34	-1,42
1-Г-1	8,4	8,51	-1,29
1-Г-2	8,4	8,40	-
1-Г-3	17	16,88	+0,71
1-Г-4	16,8	17,08	-1,64
1-Г-5	25,6	25,30	+1,10
1-Г-6	25,6	25,52	+0,31

Среднее арифметическое отклонение для одной лампы . $\pm 1,13$

„ квадратичное „ „ „ „ „ $\pm 1,34$

„ вероятное „ „ „ „ „ $\pm 0,69$

Laboratoire Central d'Electricité в своих сертификатах не указывает точность измерений. По тем численным значениям для силы света, которые даны во французских сертификатах, следует считать, что эта точность не выше $\pm 1/2\%$. Среднее (квадратичное) отклонение для измерений этих ламп фотометрической лабораторией Главной Палаты мер и весов, что показано ниже, доходит до $\pm 0,30\%$. Таким образом, лишь для двух ламп (см. ведомость III б) разница в измерениях двух лабораторий лежит в пределах точности измерений одной лампы. Для остальных десяти ламп разница может быть объяснена теми причинами, о которых раньше говорилось (разница в расстояниях от лампы до экрана фотометра, в окраске света и т. д.), или случайными не учтенными ошибками наблюдений.

Значительно позднее того времени, когда были произведены измерения эталонных ламп, фотометрическая лаборатория Главной Палаты мер и весов получила данные измерений французских ламп, произведенных National Physical Laboratory в марте месяце 1924 г. Эти данные приведены в ведомости IV.

Ведомость IV.

Французская группа светового эталона по измерениям Laboratoire Central d'Electricité и National Physical Laboratory.

Метка лампы	Напряжение: вольты		Сила тока: амперы		Сила света: межд. св.	
	L. C. E.	N. P. L.	L. C. E.	N. P. L.	L. C. E.	N. P. L.
1-Ф-1	106,70	106,6 ₅	0,372	0,372 ₅	9,85	9,9 ₁
1-Ф-2	106,30	106,3 ₅	0,633	0,633 ₅	50	49,6
1-Ф-3	105,10	105,0 ₅	0,6365	0,636 ₅	50	48,6
1-Ф-4	103,00	102,6 ₅	0,291	0,291 ₆	19,5	19,5 ₀
1-Ф-5	103,00	102,0 ₅	0,292	0,292 ₁	19,5	19,3 ₅
1-Ф-6	107,60	107,5 ₅	0,694	0,694 ₁	20,05	20,1 ₅
1-Г-1	48,80	48,7 ₀	0,2675	0,267 ₃	8,4	8,5 ₀
1-Г-2	49,00	49,0 ₀	0,2675	0,267 ₅	8,4	8,4 ₁
1-Г-3	52,10	52,1 ₀	0,405	0,405 ₅	17	17,1 ₀
1-Г-4	52,20	51,9 ₀	0,404	0,404 ₁	16,8	16,8 ₁
1-Г-5	49,10	49,1 ₀	0,6515	0,651 ₁	25,0	25,5
1-Г-6	49,20	49,2 ₁	0,6525	0,652 ₅	25,0	25,7

Как видно, английская лаборатория измеряла французские лампы по большей части при ином напряжении. Поэтому непосредственно данные обеих лабораторий не сравнимы. Для того, чтобы их сопоставить, но лишь с некоторым приближением, следует силу света вольфрамовых ламп изменить на величину в 3,7¹⁾ раза большую, а угольных—в 5,7¹⁾ раза большую, чем изменение напряжения. К такому пересчету нужно относиться с большой осторожностью еще и потому, что как напряжение, так и сила света в английских данных показаны с пониженной точностью. Вследствие этого поправки благонадежны в пределах почти что $\pm 50\%$. В нижеприводимой ведомости V приведены данные National Physical Laboratory с поправками наряду как с данными Laboratoire Central d'Electricité, так и с измерениями фотометрической лаборатории Главной Палаты мер и весов. Последние даются в английских единицах.

Сопоставление отклонений в измерениях трех лабораторий показывает, между прочим, что измерения фотометрической лаборатории Главной Палаты мер и весов отличаются от таковых National Physical Laboratory

¹⁾ Эти цифры обычны для вольфрамовых и угольных ламп. Их точность — около $\pm 15\%$.

на $+0,7\%$. Другими словами, английская единица международной свечи, измеренная фотометрической лабораторией Главной Палаты мер и весов по английской группе светового эталона, отличается от таковой, измеренной по французской группе—в английских, конечно, единицах—на $-0,7\%$.

Ведомость V.

Французская группа светового эталона по измерениям *Laboratoire Central d'Electricité, National Physical Laboratory* и фотометрической лаборатории Главной Палаты мер и весов.

Метка лампы	Сила света; межд. св.			Отклонения по отношению к данным Л. С. Е.; %	
	по измерениям			N. P. L.	Ф. Л. Г. П.
	Л. С. Е.	N. P. L.	Ф. Л. Г. П. ¹⁾		
1-Ф-1	9,85	9,97	10,14	+1,22	+2,04
1-Ф-2	50	49,52	49,83	-0,96	-0,35
1-Ф-3	50	48,77	49,47	-2,46	-1,07
1-Ф-4	19,5	19,75	19,85	+1,28	+1,77
1-Ф-5	19,5	19,39	19,52	-0,56	-0,12
1-Ф-6	20,05	20,20	20,56	+0,75	+2,77
1-Г-1	8,4	8,61	8,60	+2,50	+2,38
1-Г-2	8,4	8,42	8,48	+0,24	+1,01
1-Г-3	17	17,00	17,06	—	+0,36
1-Г-4	16,8	17,23	17,26	+2,56	+2,75
1-Г-5	25,6	25,60	25,58	—	-0,09
1-Г-6	25,6	25,66	25,80	+0,23	+0,78
Среднее арифметическое				+0,40	+1,11

Возникает вопрос, следует ли это расхождение отнести к изменению самих французских ламп или к неточности измерений. Первое предположение наименее вероятно, так как ранее указанные соображения говорят в пользу удовлетворительной сохранности ламп. Второе предположение гораздо более вероятно. Пониженную точность английских измерений, с одной стороны, и различную обстановку измерений, с другой стороны—следует считать причинами расхождений. Необходимо обратить внимание, что для ламп 1-Ф-4, 1-Ф-5, 1-Г-3, 1-Г-4, 1-Г-5 и 1-Г-6, которые по силе света и по окраске спектра более приближаются к английской группе эталона, расхождение между измерениями фотометрической лаборатории Главной Палаты мер и весов и *National Physical Laboratory* составляет в среднем (арифметическом) всего только $0,3\%$. Такая разница вполне допустима при пониженной точности измерения в *National Physical Laboratory*.

Наибольшее отклонение для ламп 1-Ф-1, 1-Ф-6, 1-Г-1 и 1-Г-2 естественно объяснить значительной разницей в окраске света этих ламп. Если обратить внимание на знаки отклонений измерений английских и русских по отношению к французским, то можно признать, что, в общем, измерения фотометрической лаборатории Главной Палаты мер и весов и *National Physical Laboratory* согласуются вполне удовлетворительно для международных измерений. На основании этого нет необходимости вносить какие-либо поправки в значение английской единицы силы света, взятой лишь по английской группе светового эталона.

¹⁾ В английских единицах.

Описание эталонных ламп.

В нижеприводимых ведомостях VIа и VIб сведены данные об эталонных лампах, причем сила света показана в русском значении международной свечи. Подробности наблюдений и вычислений даны в приложениях 2-м и 3-м.

Ведомость VIа.

Описание английской группы светового эталона.

Метка лампы	Сила света; межд. свечи	Удельн. потребл. мощности; ватты на 1 м. св.	Напряжение; вольты	Сила тока; амперы	Материал нити	Изготовлены заводом
1-А-1	20,06	1,439	101,00 ₀	0,2858 ₇	Вольфрам	Osram - General Electric Co. Ltd.
1-А-2	19,84	1,448	100,00 ₀	0,2873 ₂	"	
1-А-3	20,54	1,426	102,00 ₀	0,2871 ₀	"	
1-А-4	20,08	1,451	101,50 ₀	0,2869 ₈	"	
1-А-5	20,00	1,442	100,50 ₀	0,2869 ₁	"	
1-А-6	20,33	1,431	101,00 ₀	0,2881 ₂	"	
1-А-7	19,38	1,463	99,00 ₀	0,2864 ₁	"	
1-А-8	19,73	1,462	101,00 ₀	0,2856 ₄	"	
1-А-9	21,13	1,399	102,50 ₀	0,2884 ₄	"	
1-А-10	20,71	1,412	101,50 ₀	0,2880 ₄	"	
1-А-11	20,06	1,432	100,00 ₀	0,2872 ₇	"	
1-А-12	20,34	1,443	101,50 ₀	0,2892 ₂	"	

Ведомость VI-б.

Описание французской группы светового эталона.

Метка лампы	Сила света; межд. свечи	Удельн. потребл. мощности; ватты на 1 м. св.	Напряжение; вольты	Сила тока; амперы	Материал нити	Изготовлены заводом
1-Ф-1	10,09	3,99 ₃	106,70 ₀	0,3724 ₃	Угольная	Р. L. Франция
1-Ф-2	49,5 ₀	1,35 ₂	106,30 ₀	0,6332 ₁	Вольфрам	" Iris "
1-Ф-3	49,2 ₀	1,36 ₄	105,10 ₀	0,6368 ₀	"	" "
1-Ф-4	19,74	1,521	103,00 ₀	0,2915 ₀	"	" "
1-Ф-5	19,42	1,540	103,00 ₀	0,2920 ₇	"	" "
1-Ф-6	20,45	3,65 ₅	107,60 ₀	0,6047 ₀	Угольная	Р. L.
1-Г-1	8,55	1,52 ₉	48,80 ₀	0,2670 ₀	Вольфрам	" Osram " Германия
1-Г-2	8,44	1,55 ₇	49,00 ₀	0,2675 ₀	"	
1-Г-3	16,97	1,242	52,10 ₀	0,4044 ₇	"	
1-Г-4	17,17	1,235	52,30 ₀	0,4055 ₅	"	
1-Г-5	25,44	1,258	49,10 ₀	0,6516 ₃	"	
1-Г-6	25,66	1,251	49,20 ₀	0,6523 ₃	"	

Точность измерений.

Ниже показаны сводные данные. В ведомости VII-й перечислена точность отдельных измерений.

Как видно из упомянутой ведомости, некоторую ошибку дает отражение от бархата. Эта ошибка постоянная. Она, вообще говоря, вполне может быть исключена. Однако, этого не сделано, так как пока такие поправки не вводит ни одна лаборатория, хранящая международную свечу. Такое же замечание должно быть сделано и по отношению к экрану.

Ведомость VII-я.
Точность отдельных измерений.

	Наименование измерений и друг. причин, влияющих на точность измерений	Относительная точность измерений; проценты	Влияние на численное значение силы света одной лампы; проценты	
			Лампы с вольфрамовой нитью	Лампы с угольной нитью
1	Измерение напряжения у эталонной лампы	$\pm 0,00_2$	$\pm 0,0_2$	$\pm 0,0_2$
2	Измерение напряжения у ламп сравнения	$\pm 0,002$	$\pm 0,008$	$\pm 0,008$
3	Измерение силы тока эталонной лампы	$\pm 0,00_4$	—	—
4	Измерение расстояний	$\pm 0,02$	$\pm 0,04$	$\pm 0,04$
5	Установка лампы (совпадение перпендикуляра и плоскости нитей со светометрической осью)	$\pm 0,5$	$\pm 0,01$	$\pm 0,01$
6	Установка светометрической оси в горизонтальном положении	$\pm 0,2$	$\pm 0,00$	$\pm 0,00$
7	Установка экрана фотометра (совпадение его с плоскостью, перпендикулярной к светометрической оси)	$\pm 0,5$	$\pm 0,00$	$\pm 0,00$
8	Отражение от бархатной занавески позади эталонной лампы	$\pm 0,10$	$\pm 0,01$	$\pm 0,01$
9	Отклонение от белизны экрана фотометра	—	—	$-6,0_2$
10	Отклонение от бесцветности оптической системы фотометра	—	—	—
11	Нахождение светового равенства одним наблюдателем по одной лампе сравнения	$\pm 0,03$ (по отношению к расстоянию)	$\pm 0,06$	$\pm 0,06$

Ошибка в измерении напряжения у эталонной лампы по отношению к международному вольту, вообще говоря, могла бы быть понижена. В данном случае этому не было придано значения, так как напряжения эталонных ламп показаны в заграничных сертификатах с точностью около $\pm 0,01\%$. Ошибки под номерами 2, 4, 5 и 11 двузначны. Они должны быть отнесены к разряду случайных. Но все они являются ошибками второй и даже третьей степени малости по сравнению с отклонением в положении светового равенства, как у одного наблюдателя по сравнению с другим, так и у одного наблюдателя при каждом новом наблюдении с другой лампой сравнения или при повторном измерении той же лампы через некоторый промежуток времени. Эти отклонения зависят от физиологических свойств глаза, как органа зрения. Происходящие вследствие таких отклонений ошибки наблюдений должны быть отнесены к разряду случайных. Размер этих ошибок показан далее. При повторном измерении одной и той же лампы ошибки под номерами 2, 4, 5, 11 и, частично, 1 так или иначе складываются с физиологическими ошибками.

Вышеприведенные соображения позволяют считать, что определение ошибок как в выбранном—русском—значении единицы силы света, так и в силе света каждой эталонной лампы достаточно произвести при учете лишь ошибок отдельных световых измерений, т.е. по отклонениям в оценке

силы света данной лампы каждым наблюдателем по каждой лампе сравнения от среднего значения силы света, вычисленной по всем наблюдениям. Все эти наблюдения следует считать одной и той же точности.

Точность воспроизведения английской единицы силы света Фотометрической Лабораторией Главной Палаты мер и весов определяется следующим образом. По английским сертификатам ошибка для каждой лампы равна $\pm 0,25\%$. Считая, что ошибки для всех ламп распределяются по закону случая, найдем ошибку среднего значения единицы силы света по всем английским лампам в $\pm \frac{0,25}{\sqrt{12}} = \pm 0,072\%$. В ведомости IIIа среднее квадратичное отклонение в измерениях Фотометрической лаборатории Главной Палаты мер и весов и National Physical Laboratory для силы света каждой лампы найдено в $\pm 0,317\%$. Это дает ошибку среднего значения для всех 12-ти ламп в $\pm \frac{0,317}{\sqrt{12}} = \pm 0,091\%$. Таким образом, ошибка воспроизведения английской единицы сила света по всем лампам Фотометрической Лабораторией Главной Палаты мер и весов составляет $\pm \sqrt{0,072^2 + 0,091^2} = \pm 0,12\%$. Вероятная же ошибка равна $\pm 0,08\%$.

Точность воспроизведения французской единицы силы света в предположении, что данные французских сертификатов верны в пределах $\pm 0,5\%$, определена, как и выше. Оказалось, что ошибка воспроизведения по всем лампам составляет $\pm \sqrt{0,144^2 + 0,38^2} = \pm 0,41\%$, а вероятная ошибка $\pm 0,28\%$.

Отсюда следует, что ошибка русского значения единицы силы света по сравнению с точным значением международной свечи, взятой как среднее (арифметическое) из точных значений английской и французской единиц сил света, составляет $\pm \sqrt{0,12^2 + 0,41^2} = \pm 0,43\%$ при вероятной ошибке в $\pm 0,29\%$. Точность значения силы света каждой эталонной лампы в оценке фотометрической лаборатории Главной Палаты мер и весов может быть оценена как по отношению к точному значению русской единицы силы света, так и по отношению к точному значению международной свечи, взятой как и выше. Пределы первой ошибки показаны в ведомости VIII-й. Пределы второй ошибки могут быть подсчитаны по корню квадратному из суммы квадратов первой ошибки и ошибки русского значения единицы силы света. Вторая ошибка не показана, так как в отдельности каждая эталонная лампа не применяется. В среднем, каждая лампа воспроизводит русскую единицу силы света с точностью $\pm 0,1\%$ при вероятной ошибке $\pm 0,1\%$. Точность воспроизведения русской единицы силы света всеми лампами составляет $\pm 0,03\%$ при вероятной ошибке $\pm 0,02\%$.

Ведомость VIII в.

Распределение отклонений отдельных измерений.

Пределы отклонений; проценты	Число отклонений		
	Английская группа	Французская группа	Для всего эталона
0,00—0,19	28	25	53
0,20—0,39	28	30	48
0,40—0,59	16	11	27
0,60 и выше	8	10	18

Дальнейшие работы по установлению светового эталона.

Вышеописанная работа по сличению между собой эталонных ламп и выяснению их сохранности, а также и по изготовлению с них точных копий—вторичных эталонов—заканчивает собою первую стадию установления светового эталона. Последующая стадия будет заключаться уже лишь: 1) в пополнении или замене его лампами, относительно которых может быть больше данных об их благонадежности и 2) в нахождении более точного соотношения ныне определенной русской единицы силы света с английской, французской и американской единицами. Для выполнения этих двух задач ныне предпринимаются следующие меры: 1) заказаны за границей несколько эталонных ламп, часть которых будет измерена в National Physical Laboratory, часть в Laboratoire Central d'Electricité и часть в Bureau of Standards; 2) изготавливаются эталонные лампы на одном из заводов („Светлана“), а также приобретаются за границей. Эти последние будут предварительно всесторонне изучены в фотометрической лаборатории Главной Палаты мер и весов. Они будут измерены в русских единицах и затем отправлены для сличения в Англию, Францию и Соединенные Штаты Америки. Подобное сличение впоследствии представляется желательным время от времени вновь повторять.

Может возникнуть вопрос относительно числа эталонных ламп, в совокупности составляющих световой эталон. Ясно, что только одна эталонная лампа может служить световым эталоном. Но точность воспроизведения ею единицы силы света будет соответственно меньше, чем несколькими лампами. Впрочем, эта точность может быть высокой, если лампа сама по себе устойчива и если ее измеряет большое число наблюдателей. Но чем больше наблюдателей, тем дольше горит лампа и тем, следовательно, скорее она обесценивается, так как скорее ослабляется сила ее света. Электрическая эталонная лампа, как и всякая лампа, хрупка, не прочна и боится или вовсе не выдерживает сотрясений и ударов. По этим причинам доверять хранение единицы силы света не только одной лампе, но и малому их числу, оказалось бы неосторожным.

Как следует из теории ошибок, точность значения единицы силы света будет возрастать, как корень квадратный из числа ламп. Однако, увеличение числа ламп не только усложняет работу по их измерению, но и может понизить точность измерений благодаря заметному изменению силы света ламп сравнения.

В общем, фотометрическая лаборатория Главной Палаты мер и весов по совокупности всех причин считает достаточным иметь световой эталон из 15-ти ламп, причем желательно иметь три таких эталона. Более подробные соображения о числе ламп в световом эталоне изложены были ранее в особом докладе автора: „Порядок установления, хранения и размножения световых эталонов“¹⁾.

Выше указывалось, что повторное измерение уже 13 ламп двумя наблюдателями по двум лампам сравнения обнаружило отклонение в значении единицы силы света, ими воспроизводимой, всего лишь на 0,04% от принятого для нее значения. Как это обстоятельство, так и выше указанные соображения, а равно точность измерений каждой эталонной лампы и точность значения размера единицы силы света позволяют считать, что нынешний состав светового эталона из 24 ламп не только вполне достаточен, но и включает некоторый запас.

¹⁾ К настоящему времени еще не опубликован.

Вторичный эталон.

Вторичные эталоны являются необходимым звеном в деле хранения единицы силы света. Качества этих ламп, в сущности, должны быть теми же, что и основных эталонов. По разным причинам Фотометрическая Лаборатория Главной Палаты мер и весов не имела возможность подготовить для вторичных эталонов специальные лампы. Поэтому было поступлено следующим образом. Было приобретено 25 пустотных электрических ламп промышленного образца завода Осрам (в Берлине) номинального напряжения 120 вольт и номинальной силы света 45 межд. свечей (в поперечном направлении). В продолжение 200 часов при номинальном напряжении они были отожжены. После этого в электрическом поле трансформатора Тесла они были просвечены. Было отобрано 17 ламп, имевших безупречное разражение. Из них 2 лампы были применены в качестве ламп сравнения. Пятнадцать же ламп были употреблены в качестве вторичного эталона.

Сила света некоторых ламп измерялась до и после 24-х часового горения. Ощутимого изменения не было обнаружено. Лампы подобного типа по измерениям автора в фотометрической лаборатории Ленинградского Политехнического Института теряют силу света на 15—20% за 1000 часов горения. Таким образом, в среднем, 0,05% силы света лампа теряет через 2,5—3,3 часа. Для того, чтобы удлинить этот срок, а также и для того, чтобы иметь окраску света ближе к основному эталону, все вторичные эталоны горят при напряжении в 107 вольт. Такое понижение напряжения почти утраивает срок службы ламп. Как уже указывалось, лампы сравнения являлись такими же лампами по происхождению, устройству и предварительному отжигу, как и вторичные эталонные лампы. Ослабление силы света их на 0,26% за 10 часов горения оказалось несколько большим, чем это предполагалось по вышеприведенному расчету. Можно объяснить это тем, что сила света падает неравномерно. Осторожность требует поэтому, чтобы вторичный эталон был вновь сличен с основным после, примерно, 3-х часов продолжительности пользования, если признать желательным, чтобы сила света его ослабла до сверки не более, чем на 0,08%. Этим, именно, и предполагает руководствоваться фотометрическая лаборатория Главной Палаты мер и весов.

У промышленного вида ламп сила света в разных направлениях, взятых в поперечной (к оси лампы) плоскости, сильно меняется. На это было обращено внимание и выбиралось такое направление, что при повороте лампы, приблизительно, на $+7^\circ$ ощутимого изменения силы света нет.

Ниже в ведомости IX приводится описание вторичного светового эталона и указываются отдельные ошибки наблюдений.

В среднем, каждая лампа вторичного эталона воспроизводит русское значение единицы силы света с точностью $\pm 0,2\%$ при вероятной ошибке $\pm 0,1\%$. Точность воспроизведения международной свечи всеми лампами эталона составляет $\pm 0,07\%$ при вероятной ошибке $\pm 0,04\%$.

Ныне изготовленные вторичные эталонные лампы фотометрическая лаборатория Главной Палаты мер и весов в ближайшем будущем предполагает заменить иными.

Приложение 1.

Дополнительные сведения об электрических измерениях.

Нормальные элементы имеют следующие напряжения:

1) 1,9 А	— 1,01848	межд. вольта	при 20° С
2) 2,12А	— 1,01847	"	" " " "
3) 61	— 1,01844	"	" " " "
4) 62	— 1,01844	"	" " " "

Последний элемент являлся запасным. За время работы температура элементов изменялась, вследствие изменения ее в комнате. Изменение напряжения учитывалось по формуле:

$$E_t = E_{20^\circ} - 406 \times 10^{-7} (t - 20) - 95 \times 10^{-8} (t - 20)^2 + 10^{-8} (t - 20)^3.$$

Нормальное сопротивление номинально в один ом фирмы Гартман и Браун № 2500 имеет сопротивление по измерениям эталонной электрической лаборатории, равное 0,999930 межд. ома. Температурный коэффициент по измерениям той же лаборатории оказывается равным 0,00001647. Такое его значение позволяет пренебрегать изменениями сопротивления при колебаниях комнатной температуры на $\pm 1,5^\circ$, имевшими место в течение измерений.

Потенциометр Гартмана и Брауна № 9865, измерявший через делитель напряжение у эталонной лампы, был проверен фотометрической лабораторией Главной Палаты мер и весов.

Относительные поправки оказались такими:

Для 1-й тысячи	$+ 5,9 \times 10^{-5}$	Для 1-й сотни	$- 4,0 \times 10^{-5}$	(отдельно от тысяч)
" 2-х тысяч	$- 5,4 \times 10^{-5}$	" 2-х сотен	$- 8,0 \times 10^{-5}$	
" 3-х "	$+ 2,6 \times 10^{-5}$	" 3-х "	$- 10,4 \times 10^{-5}$	
" 4-х "	$- 2,0 \times 10^{-5}$	" 4-х "	$- 14,3 \times 10^{-5}$	
" 5-ти "	$- 0,3 \times 10^{-5}$	" 5-ти "	$- 19,1 \times 10^{-5}$	
" 6-ти "	$- 1,0 \times 10^{-5}$	" 6-ти "	$- 24,0 \times 10^{-5}$	
" 7-ми "	$- 0,6 \times 10^{-5}$	" 7-ми "	$- 26,7 \times 10^{-5}$	
" 8-ми "	$- 1,2 \times 10^{-5}$	" 8-ми "	$- 30,1 \times 10^{-5}$	
" 9-ти "	$- 0,0 \times 10^{-5}$	" 9-ти "	$- 39,2 \times 10^{-5}$	
" 10-ти "	$- 0,00 \times 10^{-5}$			

Для меньших сопротивлений поправок не требуется.

Делитель напряжения к этому потенциометру завода Гартмана и Брауна № 8788 был также проверен фотометрической лабораторией. Оказалось, что он верен в пределах $\pm 0,00_{\pm 0,1}$.

Потенциометр Вестона № 15, измерявший напряжение у зажимов нормального сопротивления для определения силы тока в эталонной лампе, был проверен фотометрической лабораторией. Для пределов измерений, требовавшихся в данной работе, необходимо умножать отчеты по потенциометру на постоянный множитель, равный:

для пределов от 0,2 до 0,2999 ₀	вольта	— 0,9993 ₀
" " " 0,3 " 0,3999 ₀	"	— 0,9993 ₀
" " " 0,4 " 0,4999 ₀	"	— 0,9994 ₁
" " " 0,5 " 0,5999 ₀	"	— 0,9995 ₆

1) Пределы ошибки делителя пока не могут быть даны более точно по независящим от фотометрической лаборатории причинам.

Ниже приводятся данные для силы тока тех ламп, у которых он мерился дважды, т.е. при первом и последующем измерении силы света лампы. Имевшая место в некоторых случаях разница может быть объяснена: 1) неточностью измерений, 2) действительным изменением силы тока в лампе и 3) измерением силы тока в разное время от начала включения лампы.

Повторные измерения силы тока у ламп.

Основной эталон				Вторичный эталон			
Метка лампы	Первое измерение	Второе измерение	Отклонение от среднего; %	Метка лампы	Первое измерение	Второе измерение	Отклонение от среднего; %
1-А-5	0,28690	0,28692	0,003	II-1-1	0,36883	0,36884	—
1-А-6	0,28809	0,28815	0,010	II-1-9	0,36512	0,36475	0,050
1-А-7	0,28641	0,28641	—				
1-А-8	0,28566	0,28563	0,005				
1-А-9	0,28846	0,28842	0,007				
1-А-10	0,28802	0,28806	0,007				
1-А-11	0,28726	0,28720	0,005				
1-А-12	0,28922	0,28924	0,003				
1-Ф-4	0,29159	0,29159	—				
1-Ф-5	0,29222	0,29192	0,051				
1-Ф-6	0,69464	0,69475	0,008				
1-Г-4	0,40553	0,40558	0,006				
1-Г-5	0,65166	0,65158	0,006				

Сила тока ламп сравнения за время работы менялась следующим образом:

Изменение силы тока ламп сравнения.

Время работы	Продолжительность горения лампы; часы	Сила тока: амперы		Изменения по сравнению со средней силой тока; %		
		первой лампы сравнения	второй лампы сравнения	Первая лампа сравнения	Вторая лампа сравнения	
31/x — 1925	В начале	0,5	0,3687 ₇	0,3686 ₁	- 0,04 ₁	+ 0,00 ₃
	В конце	3,28	—	—	—	—
1/xi — 1925	В начале	3,78	0,3688 ₀	0,3686 ₁	- 0,01 ₁	- 0,00 ₃
	В конце	11,56	0,3689 ₀	0,3686 ₅	+ 0,01 ₁	+ 0,00 ₃
2/xi — 1925	В начале	11,86	0,3689 ₂	0,3686 ₂	- 0,00 ₁	- 0,00 ₃
	В конце	17,09	0,3689 ₀	0,3686 ₁	+ 0,01 ₄	0,00 ₃
4/xi — 1925	В начале	18,00	0,3689 ₆	0,3685 ₉	+ 0,00 ₃	- 0,01 ₁
	В конце	21,63	0,3689 ₇	0,3686 ₁	+ 0,00 ₃	0,00 ₃
6/xi — 1925	В начале	21,88	0,3689 ₄	0,3686 ₅	0,00 ₁	0,00 ₃
	В конце	27,65	0,3689 ₉	0,3686 ₄	+ 0,01 ₄	+ 0,00 ₃
11/xi — 1925	В начале	27,88	0,3689 ₀	0,3686 ₇	+ 0,00 ₅	- 0,00 ₃
	В конце	31,70	0,3689 ₀	0,3686 ₃	+ 0,01 ₄	0,00 ₃
Среднее		—	0,36894	0,36863	—	—

Приложение 2-е.

Нахождение положения светового равенства.

Ниже приводятся несколько примеров отчетов по шкале скамьи, соответствующих нахождению положения границ светового равенства ¹⁾.

¹⁾ Сюда еще не внесена поправка на расстояние указателя фотометра от плоскости экрана последнего.

Примеры наиболее устойчивых наблюдений.

№ №	Метка лампы	Границы светового равенства (пара наблюдений); сантиметры	Положение светового равенства (по 2-м границам)	Среднее значение положения светового равенства по всем отсчетам	Отклонение от среднего (для столбца 4)	Относительная средняя квадратичная ошибка для одной пары наблюдений	Относительная средняя квадратичная ошибка среднего значения положения светового равенства	Вероятная относительная ошибка среднего значения светового равенства	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
		1-й наблюдатель:			1-я лампа сравнения:				
1	1-Ф-5	114,79—114,60	114,60 ₅	114,70 ₅	-0,008	$0,95 \times 10^{-4}$	$0,43 \times 10^{-4}$	$0,28 \times 10^{-4}$	
		114,78—114,61	114,60 ₆		+0,012				
		114,90—114,63	114,71 ₅		-0,008				
		114,77—114,62	114,60 ₅		+0,012				
2	1-А-3	117,54—117,81	117,67 ₅	117,68 ₅	-0,010	$1,50 \times 10^{-4}$	$0,67 \times 10^{-4}$	$0,45 \times 10^{-4}$	
		117,61—117,76	117,68 ₆		0,000				
		117,67—117,76	117,71 ₆		+0,030				
		117,62—117,72	117,67 ₆		-0,015				
3	1-А-8	114,12—113,96	114,04 ₆	114,03 ₆	+0,010	$1,48 \times 10^{-4}$	$0,67 \times 10^{-4}$	$0,45 \times 10^{-4}$	
		114,12—113,98	114,05 ₆		+0,020				
		114,11—113,96	114,03 ₅		-0,005				
		114,06—113,97	114,01 ₅		-0,015				
4	1-А-6	116,06—116,18	116,12 ₆	116,11 ₆	+0,004	$1,70 \times 10^{-4}$	$0,76 \times 10^{-4}$	$0,51 \times 10^{-4}$	
		116,07—116,17	116,12 ₆		+0,004				
		116,05—116,15	116,10 ₆		-0,016				
		116,07—116,12	116,09 ₅		-0,021				
5	1-А-10	116,96—116,87	116,91 ₅	116,93 ₅	-0,023	$1,23 \times 10^{-4}$	$0,55 \times 10^{-4}$	$0,37 \times 10^{-4}$	
		117,00—116,91	116,95 ₅		+0,017				
		117,00—116,88	116,94 ₅		+0,002				
		116,99—116,89	116,94 ₅		-0,002				
6	1-А-2	114,40—114,10	114,25 ₆	114,20 ₅	+0,042	$1,78 \times 10^{-4}$	$0,79 \times 10^{-4}$	$0,53 \times 10^{-4}$	
		114,30—114,05	114,16 ₅		-0,043				
		114,40—114,00	114,20 ₆		-0,008				
		114,40—114,05	114,22 ₅		+0,017				
7	1-Ф-2	178,92—178,65	178,78 ₅	178,76 ₆	+0,022	$1,21 \times 10^{-4}$	$0,54 \times 10^{-4}$	$0,36 \times 10^{-4}$	
		178,92—178,55	178,73 ₅		-0,028				
		178,95—178,62	178,78 ₆		+0,022				
		178,96—178,55	178,75 ₆		-0,008				
8	1-А-10	115,83—115,52	115,67 ₅	115,68 ₅	-0,012	$1,57 \times 10^{-4}$	$0,70 \times 10^{-4}$	$0,47 \times 10^{-4}$	
		115,85—115,58	115,71 ₅		+0,028				
		115,78—115,56	115,67 ₅		-0,017				
		115,77—115,62	115,69 ₅		+0,008				
		115,77—115,59	115,68 ₅		-0,007				
		2-й наблюдатель:			2-я лампа сравнения:				

Примеры средних по устойчивости наблюдений.

№№	Метка лампы	Границы светового равенства (пара наблюдений), сантиметры	Положение светового равенства (по 2-м границам)	Среднее значение положения светового равенства по всем отчетам	Отклонение от среднего (для столбца 4)	Относительная средняя квадратичная ошибка для одной пары наблюдений	Относительная средняя квадратичная ошибка среднего значения положения светового равенства	Вероятная относительная ошибка среднего значения положения светового равенства
1	2	3	4	5	6	7	8	9
		1-й наблюдатель:			1-я лампа сравнения.			
9	1-Г-2	75,61—75,52	75,56 ₅	75,58 ₃	-0,018	$2,64 \times 10^{-4}$	$1,38 \times 10^{-4}$	$0,79 \times 10^{-4}$
		75,61—75,52	75,56 ₅		+0,018			
		75,63—75,56	75,59 ₅		+0,012			
		75,62—75,54	75,58 ₀		-0,003			
		75,66—75,56	75,61 ₀		+0,027			
10	1-Г-4	107,69—107,50	107,59 ₅	107,63 ₀	-0,044	$3,02 \times 10^{-4}$	$1,35 \times 10^{-4}$	$0,80 \times 10^{-4}$
		107,76—107,56	107,66 ₀		+0,021			
		107,70—107,56	107,63 ₀		-0,009			
		107,71—107,55	107,63 ₀		-0,009			
		107,74—107,62	107,68 ₀		+0,041			
		107,69—107,50	107,59 ₅		-0,044			
		107,76—107,56	107,66 ₀		+0,021			
		107,70—107,56	107,63 ₀		-0,009			
		107,71—107,55	107,63 ₀		-0,009			
		107,74—107,62	107,68 ₀		+0,041			
		1-й наблюдатель:			2-ая лампа сравнения.			
11	1-А-3	116,28—116,37	116,32 ₅	116,28 ₂	-0,043	$2,64 \times 10^{-4}$	$1,18 \times 10^{-4}$	$0,70 \times 10^{-4}$
		116,27—116,36	116,31 ₅		+0,033			
		116,21—116,32	116,26 ₅		-0,017			
		116,20—116,31	116,25 ₀		-0,027			
		116,19—116,31	116,25 ₀		-0,032			
12	1-Ф-1	81,56—81,64	81,60 ₀	81,57 ₀	+0,025	$2,77 \times 10^{-4}$	$1,24 \times 10^{-4}$	$0,83 \times 10^{-4}$
		81,52—81,62	81,57 ₀		-0,005			
		81,51—81,58	81,54 ₅		-0,030			
		81,52—81,61	81,56 ₅		-0,010			
		81,57—81,62	81,59 ₀		+0,020			
		81,56—81,64	81,60 ₀		+0,025			
		81,52—81,62	81,57 ₀		-0,005			
		81,51—81,58	81,54 ₅		-0,030			
		81,52—81,61	81,56 ₅		-0,010			
		81,57—81,62	81,59 ₀		+0,020			
		2-й наблюдатель:			1-ая лампа сравнения.			
13	1-Г-4	106,68—106,56	106,62 ₀	106,61 ₇	+0,003	$3,10 \times 10^{-4}$	$1,38 \times 10^{-4}$	$0,92 \times 10^{-4}$
		106,71—106,63	106,67 ₀		+0,053			
		106,62—106,54	106,58 ₀		-0,037			
		106,65—106,56	106,60 ₅		-0,012			
		106,65—106,57	106,61 ₀		-0,007			
		106,68—106,56	106,62 ₀		+0,003			
		106,71—106,63	106,67 ₀		+0,053			
		106,62—106,54	106,58 ₀		-0,037			
		106,65—106,56	106,60 ₅		-0,012			
		106,65—106,57	106,61 ₀		-0,007			
14	1-А-3	116,35—116,05	116,20 ₀	116,22 ₆	-0,026	$3,57 \times 10^{-4}$	$1,50 \times 10^{-4}$	$1,06 \times 10^{-4}$
		116,34—116,01	116,17 ₅		-0,051			
		116,38—116,09	116,23 ₅		+0,009			
		116,38—116,09	116,23 ₀		+0,009			
		116,37—116,20	116,28 ₀		+0,059			
		116,35—116,05	116,20 ₀		-0,026			
		116,34—116,01	116,17 ₅		-0,051			
		116,38—116,09	116,23 ₅		+0,009			
		116,38—116,09	116,23 ₀		+0,009			
		116,37—116,20	116,28 ₀		+0,059			
		2-й наблюдатель:			2-ая лампа сравнения.			
15	1-Ф-6	115,30—115,00	115,15 ₀	115,20 ₄	-0,054	$2,94 \times 10^{-4}$	$1,31 \times 10^{-4}$	$0,87 \times 10^{-4}$
		115,38—115,00	115,19 ₀		-0,014			
		115,41—115,04	115,22 ₀		+0,021			
		115,36—115,10	115,23 ₀		+0,026			
		115,44—115,01	115,22 ₅		+0,021			
		115,30—115,00	115,15 ₀		-0,054			
		115,38—115,00	115,19 ₀		-0,014			
		115,41—115,04	115,22 ₀		+0,021			
		115,36—115,10	115,23 ₀		+0,026			
		115,44—115,01	115,22 ₅		+0,021			
16	1-Ф-4	114,29—114,00	114,14 ₅	114,11 ₅	+0,027	$3,31 \times 10^{-4}$	$1,45 \times 10^{-4}$	$0,99 \times 10^{-4}$
		114,21—113,98	114,09 ₀		-0,013			
		114,21—113,91	114,00 ₀		-0,058			
		114,29—114,00	114,14 ₀		+0,027			
		114,29—114,00	114,14 ₀		+0,027			
		114,29—114,00	114,14 ₅		+0,027			
		114,21—113,98	114,09 ₀		-0,013			
		114,21—113,91	114,00 ₀		-0,058			
		114,29—114,00	114,14 ₀		+0,027			
		114,29—114,00	114,14 ₀		+0,027			

Примеры наименее устойчивых наблюдений.

№№	Метка лампы	Границы светового равенства (пара наблюдений); сантиметры	Положение светового равенства (по 2-м границам)	Среднее значение положения светового равенства по всем отчетам	Отклонение от среднего (для столбца 4)	Относительная средняя квадратичная ошибка для одной пары наблюдений	Относительная средняя квадратичная ошибка среднего значения положения светового равенства	Вероятная относительная ошибка среднего значения светового равенства
1	2	3	4	5	6	7	8	9
		1-й наблюдатель:			1-ая лампа сравнения.			
17	1-А-9	118,99—119,27	119,13 ₀	119,04 ₂	+0,082	5,12×10 ⁻⁴	2,29×10 ⁻⁴	1,53×10 ⁻⁴
		118,92—119,21	119,06 ₂		+0,017			
		118,89—119,08	118,97 ₀		-0,078			
		118,80—119,24	119,06 ₂		+0,017			
		118,92—119,10	119,01 ₀		-0,038			
18	1-А-11	116,30—116,66	116,48 ₀	116,39 ₄	+0,086	5,82×10 ⁻⁴	2,61×10 ⁻⁴	1,74×10 ⁻⁴
		116,30—116,60	116,45 ₀		+0,056			
		116,21—116,52	116,36 ₅		-0,029			
		116,18—116,53	116,35 ₀		-0,039			
		116,22—116,42	116,32 ₀		-0,074			
		1-й наблюдатель:			2-ая лампа сравнения.			
19	1-А-2	114,19—114,36	114,24 ₀	114,29 ₉	-0,054	4,58×10 ⁻⁴	2,05×10 ⁻⁴	1,37×10 ⁻⁴
		114,11—114,38	114,24 ₀		-0,054			
		114,21—114,41	114,31 ₀		+0,011			
		114,12—114,55	114,33 ₂		+0,030			
		114,31—114,41	114,36 ₀		+0,061			
20	1-А-9	117,50—117,80	117,65 ₀	117,64 ₇	+0,008	4,86×10 ⁻⁴	2,17×10 ⁻⁴	1,45×10 ⁻⁴
		117,52—117,71	117,61 ₀		-0,032			
		117,51—117,72	117,61 ₂		-0,032			
		117,60—117,80	117,74 ₅		+0,098			
		117,51—117,71	117,61 ₀		-0,037			
		2-й наблюдатель:			1-ая лампа сравнения.			
21	1-Ф-5	113,40—113,10	113,29 ₀	113,22 ₅	+0,070	4,88×10 ⁻⁴	2,18×10 ⁻⁴	1,45×10 ⁻⁴
		113,40—113,12	113,26 ₀		+0,035			
		113,38—113,05	113,21 ₀		-0,010			
		113,27—113,08	113,15 ₀		-0,075			
		113,31—113,10	113,20 ₀		-0,020			
22	1-А-12	115,70—115,46	115,58 ₀	115,44 ₅	+0,135	0,64×10 ⁻⁴	4,31×10 ⁻⁴	2,87×10 ⁻⁴
		115,71—115,37	115,54 ₀		+0,095			
		115,61—115,20	115,40 ₀		-0,040			
		115,55—115,22	115,38 ₀		-0,090			
		115,51—115,12	115,31 ₅		-0,130			
		2-й наблюдатель:			2-ая лампа сравнения.			
23	1-Г-4	105,42—105,22	105,32 ₀	105,26 ₀	+0,052	6,25×10 ⁻⁴	2,79×10 ⁻⁴	1,86×10 ⁻⁴
		105,39—105,24	105,31 ₅		-0,047			
		105,34—105,26	105,30 ₀		+0,032			
		105,21—105,12	105,16 ₀		-0,103			
		105,24—105,24	105,24 ₀		-0,028			
24	1-Ф-6	114,68—114,42	114,55 ₀	114,44 ₇	+0,103	6,58×10 ⁻⁴	2,94×10 ⁻⁴	1,96×10 ⁻⁴
		114,57—114,42	114,49 ₅		+0,048			
		114,56—114,41	114,43 ₀		-0,012			
		114,45—114,30	114,37 ₀		-0,072			
		114,46—114,30	114,38 ₀		-0,067			

Наблюдения всегда производились в таком порядке: 1-й наблюдатель работает сначала с 1-й лампой сравнения, а затем со второй. После этого работает 2-й наблюдатель сначала со 2-й лампой сравнения, а затем с 1-й. Время начала включения эталонной лампы, начала и конца световых измерений и выключения всегда записывалось. В среднем каждая эталонная лампа горела 16 минут, причем световые измерения длились 10 минут.

Устойчивость наблюдений помощью глаза.

Представляется существенно важным выяснить, как сказывается на результатах измерений устойчивость свойств глаз наблюдателей за все время работы. Ответ на этот вопрос дают нижеследующие ведомости.

Устойчивость световых измерений для вторичного эталона.

Метка лампы	Разница между измерениями по 1-й и 2-й лампам сравнения; проценты от среднего значения		Разница между измерениями двух наблюдателей; проценты от среднего значения для 1-го наблюдателя
	1-й наблюдатель	2-й наблюдатель	
П-1-1	-0,15 +0,03	+0,27 -0,105	+0,08 -0,16
П-1-3	-0,64	-0,12	-0,57
П-1-4	+0,12	+0,38	+0,26
П-1-5	-0,065	+0,48	+0,04
П-1-7	-0,22	-0,15	0,00
П-1-8	-0,44	+0,00	-0,22
П-1-9	-0,10 +0,20	+0,50 +0,38	+0,25 +0,06
П-1-10	+0,30	+0,18	-0,05
П-1-11	-0,10	-0,46	-0,10
П-1-12	-0,125	+0,35	-0,20
П-1-13	+0,10	-0,64	+0,02
П-1-14	+0,14	+0,17	0,00
П-1-15	-0,24	+0,40	+0,14
П-1-16	-0,11	+0,15	+0,11
П-1-17	+0,18	+0,58	0,00
Средняя арифметическая для каждого наблюдения	0,19	0,31	0,13
Средняя квадратичная для каждого наблюдения	0,25	0,37	0,20
Влияние по всем лампам на конечный результат	-0,013	+0,21	-0,03
Распределение разниц			
От	до		
+0,00	+0,09	1	5
-0,00	-0,09	1	3
+0,10	+0,19	6	2
-0,10	-0,19	3	2
+0,20	+0,29	2	2
-0,20	-0,29	1	2
+0,30 и выше		1	1
-0,30 и выше		2	1
		2	8
		1	1
		5	4
		1	4
		8	1
		1	

Устойчивость световых измерений для основного эталона.

Метка лампы	Разница между измерениями по 1-й и 2-й лампам сравнения; проценты от среднего значения для первой лампы		Разница между измерениями двух наблюдателей; проценты от среднего значения для 1-го наблюдателя			
	1-й наблюдатель	2-й наблюдатель	1-й наблюдатель	2-й наблюдатель		
1-А-1	-0,08	—	-0,39	—	+0,13	—
1-А-2	+0,12	—	-0,14	—	+0,08	—
1-А-3	+0,02	—	-0,36	—	-0,17	—
1-А-4	-0,08	—	-0,18	—	-0,18	—
1-А-5	+0,01	+0,005	+0,06	+0,12	+0,35	+0,405
	0,00		+0,18		+0,46	
1-А-6	-0,09	-0,15	-0,30	-0,20	-0,16	+0,115
	-0,21		-0,10		+0,07	
1-А-7	-0,10	+0,07	-0,30	+0,10	-0,18	+0,16
	+0,28		+0,30		-0,14	
1-А-8	-0,12	-0,135	-0,50	+0,275	+0,11	+0,035
	-0,15		+0,06		-0,04	
1-А-9	0,00	-0,13	-0,04	-0,02	+0,20	+0,18
	+0,26		0,00		-0,16	
1-А-10	+0,22	+0,20	+0,48	+0,325	+0,19	+0,145
	+0,18		0,17		-0,10	
1-А-11	+0,15	+0,16	+0,36	+0,22	+0,18	+0,12
	+0,17		+0,08		+0,06	
1-А-12	-0,22	-0,005	+0,34	-0,06	+0,22	+0,13
	+0,03		-0,46		+0,04	
1-Ф-1	-0,12	—	+0,52	—	-0,35	—
1-Ф-2	-0,02	—	+0,18	—	-0,06	—
1-Ф-3	-0,04	—	-0,31	—	-0,40	—
1-Ф-4	-0,14	-0,11	+0,08	+0,17	+0,01	+0,125
	-0,08		+0,26		-0,24	
1-Ф-5	+0,03	-0,01	-0,20	-0,185	+0,25	+0,11
	-0,05		-0,17		-0,03	
1-Ф-6	-0,14	+0,135	-0,14	-0,085	-0,40	+0,45
	+0,41		-0,03		+0,56	
1-Г-1	+0,20	—	+0,03	—	-0,36	—
1-Г-2	+0,175	—	+0,12	—	-0,165	—
1-Г-3	+0,06	—	-0,12	—	-0,42	—
1-Г-4	-0,10	+0,08	-0,14	+0,21	-0,26	-0,15
	+0,06		-0,56		-0,04	
1-Г-5	+0,08	+0,00	-0,22	-0,17	-0,345	+0,005
	-0,08		-0,12		-0,355	
1-Г-6	-0,26	—	0,00	—	0,00	—
Средняя арифметическая для каждого наблюдения	0,10		0,19		0,19	
Средняя квадратичная для каждого наблюдения	0,15		0,28		0,25	
Влияние по всем лампам на конечный результат	0,000		0,002		±0,001	
Распределение разниц						
От +0,00 до +0,09	8	17	6	9	6	10
" -0,00 " -0,09	9	17	3	9	4	10
" +0,10 " +0,19	6	12	4	12	9	12
" -0,10 " -0,19	6	12	8	12	3	12
" +0,20 " +0,29	3	7	1	3	4	5
" -0,20 " -0,29	4	7	2	3	1	5
" +0,30 и выше	1	1	1	1	5	10
" -0,30 и выше	—	—	6	13	5	10

Как видно, устойчивость может быть оцениваема как по колебаниям в разнице измерений одного наблюдателя по 1-й и 2-й лампам сравнения, так и по колебаниям в разнице между измерениями двух наблюдателей. В общем, можно видеть, что эти колебания двузначны и носят случайный характер. Для основного эталона отклонения в измерениях каждого наблюдателя по двум лампам сравнения не велики.

Для вторичного эталона разница в измерениях второго наблюдателя по двум лампам сравнения носит постоянный характер. Вызывается ли это только разницей в окраске ламп сравнения или иными причинами—сказать в точности трудно. Благоприятным и здесь является то обстоятельство, что влияние разницы в показаниях двух наблюдателей на конечный результат по всем лампам сравнения—невелико (0,03%).

Приведенные ведомости позволяют судить, какой точностью обладает малое число световых измерений. Если отбросить совсем редко встречающиеся отклонения порядка $\pm 0,5\%$, то можно считать, что точность только одного светового измерения лежит в пределах от $\pm 0,2\%$ до $\pm 0,3\%$, причем первая цифра относится к более опытному наблюдателю. Все это справедливо лишь при освещенности на экране фотометра около 15 люксов. При иной освещенности получают несколько другие данные.

Приложение 3.

Вычисление силы света.

Уменьшение силы света ламп сравнения.

Так как фотометрический экран был жестко связан с лампами сравнения, то на нем, следовательно, имела постоянная освещенность. Эта постоянная освещенность сравнивалась с освещенностью, создаваемой эталонными лампами. Освещенность от последних исчисляется по силе света, взятой из сертификатов National Physical Laboratory или Laboratoire Central d'Electricité и квадрату найденного расстояния. Среднее арифметическое из значений освещенности, вычисленных по 12 английским лампам, дает английскую единицу освещенности—люкс. Подобным же образом получается французская единица освещенности. Среднее арифметическое из размера этих двух единиц дает принятый русский размер для люкса. Численное значение освещенности на экране, выраженное в русских люксах, будучи умножено на квадрат расстояния, найденного при нахождении светового равенства, дает силу света эталонной лампы в принятом русском значении международной свечи.

Все подсчеты для каждого наблюдателя по каждой лампе сравнения производятся отдельно. Таким образом, получаются четыре, а у некоторых ламп восемь, значений силы света для каждой эталонной лампы в русских единицах. Среднее арифметическое из этих значений принято за точное значение силы света каждой эталонной лампы.

Первоначально предполагалось все эталонные лампы измерять дважды. Однако, это предположение признано было нежелательным распространить на семь французских ламп 1-Ф-1, 1-Ф-2, 1-Ф-3, 1-Г-1, 1-Г-2, 1-Г-3 и 1-Г-6, главным образом, потому, что сила света многих из них значительно отличается от силы света большинства ламп. Это последнее обстоятельство влечет за собою некоторую перестановку на светомерной скамье (ставень и проводов), что следует считать нежелательным. Кроме того, первое измерение четырех английских ламп 1-А-1, 1-А-2, 1-А-3 и 1-А-4, выполненное в самом начале работы, было признано неблагонадежным, вследствие обнаруживающегося несовершенство

изоляции электрической сети проводов, а также недостаточного обезвреживания гальванометра от внешних сотрясений. Эти недостатки затем были полностью устранены. В целях равномерного износа эталонных ламп было признано нежелательным измерять те же лампы третий раз.

Таким образом, в подсчетах было принято во внимание повторное измерение лишь для 13 ламп. Из них десять ламп измерялись через промежутки времени от 8,71 до 17,68 часов по отношению к продолжительности горения ламп сравнения. Это позволило точно оценить потерю силы света у названных ламп. Были сделаны следующие предположения: 1) сила света ламп сравнения уменьшается прямо пропорционально продолжительности горения и 2) средний размер единицы силы света или, что все равно, освещенности воспроизводимой десятью эталонными лампами как при первом, так и при повторном измерении оказывается в точности одинаковым. Все вычисления для обоих наблюдателей по двум лампам сравнения производились отдельно. Они выполнялись таким образом.

Согласно первому предположению, освещенность на экране фотометра от лампы сравнения убывает за время опыта и, чтобы привести ее к начальной величине, нужно помножить на $(1 + kt_i)$. Здесь k — коэффициент, соответствующий относительному изменению силы света лампы сравнения за один час; t_i — время в часах, протекшее от начала измерений первой лампы до момента измерения силы света лампы под номером i . Таким образом, освещенность от каждой эталонной лампы в момент измерения оказавшаяся равной e_i , равняется $e'_i (1 + kt_i)$ при отнесении ее к начальному моменту измерений:

Согласно второму предположению имеем:

$$\frac{1}{10} \sum_{i=1}^{i=10} e_i (1 + kt_i) = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{i=10} e''_i (1 + kt''_i).$$

Здесь правая часть равенства относится к повторному измерению тех же десяти ламп.

Отсюда:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^{i=10} e''_i - \sum_{i=1}^{i=10} e_i}{\sum_{i=1}^{i=10} e'_i t_i - \sum_{i=1}^{i=10} e''_i t''_i}$$

Вычисления по этой формуле были произведены отдельно для каждого наблюдателя по каждой лампе сравнения. Оказалось, что скорость падения силы света ламп сравнения за десять часов оценивается следующим образом.

1-й наблюдатель	} 1 лампа сравнения — 0,282%	} 2 " " " 0,378%	} Среднее из всех четырех 0,264%
2-й наблюдатель			

Точное объяснение того, что оба наблюдателя по разному оценивают падение силы света ламп сравнения остается открытым: либо у ламп меняется окраска света, что вообще говоря, у ламп имеет место, а эту окраску, как уже указывалось, оба наблюдателя воспринимают по разному; либо остается не исключенной личная особенность или ошибка в световых измерениях того или другого наблюдателя. За истинное значение принимается среднее (арифметическое) из данных двух наблюдателей. Но это

Ведомость В.

Коэффициенты, учитывающие ослабление силы света ламп сравнения.

Метка лампы	Время протекшее от начала работы; часы	Для 1 наблюдателя		Для 2 наблюдателя		Продолжительность горения эталонной лампы; минуты	Продолжительность световых измерений; минуты
		1 лампа сравнения	2 лампа сравнения	1 лампа сравнения	2 лампа сравнения		
1-А-5	1,38	1,000389	1,000522	1,000116	1,000432	21	—
1-А-6	2,53	1,000714	1,000957	1,000213	1,000792	26	22
1-А-7	3,28	1,000926	1,001240	1,000276	1,001027	19	—
1-В-7	4,15	1,001171	1,001569	1,000349	1,001299	18	11
1-А-8	4,63	1,001306	1,001751	1,000390	1,001449	19	13
1-А-9	6,25	1,001764	1,002364	1,000526	1,001956	22	13
1-А-10	6,80	1,001919	1,002572	1,000572	1,002128	20	—
1-А-11	7,68	1,002167	1,002904	1,000647	1,002404	19	15
1-А-12	8,46	1,002387	1,003199	1,000712	1,002648	19	—
1-А-1	8,96	1,002528	1,003389	1,000754	1,002804	25	—
1-А-2	9,54	1,002692	1,003608	1,000803	1,002986	24	21
1-А-5	10,09	1,002847	1,003816	1,000849	1,003158	26	—
1-Ф-4	10,69	1,003017	1,004043	1,000900	1,003346	23	—
1-Ф-5	11,14	1,003144	1,004213	1,000938	1,003487	18	13
1-Г-5	11,56	1,003262	1,004372	1,000973	1,003618	23	—
1-Г-5	11,86	1,003347	1,004485	1,000999	1,003712	18	14
1-Г-6	12,29	1,003468	1,004648	1,001035	1,003847	11	10
1-Г-3	12,59	1,003553	1,004761	1,001060	1,003941	11	8
1-Г-4	12,92	1,003646	1,004886	1,001088	1,004044	14	11
1-А-3	13,30	1,003753	1,005030	1,001120	1,004183	14	8
1-А-4	13,62	1,003843	1,005151	1,001147	1,004263	11	9
1-А-8	14,61	1,004123	1,005525	1,001230	1,004573	10	8
1-А-12	14,87	1,004196	1,005624	1,001252	1,004654	12	8
1-Ф-6	15,27	1,004309	1,005775	1,001286	1,004779	14	8
1-Ф-2	15,70	1,004430	1,005938	1,001322	1,004914	15	12
1-Ф-3	16,05	1,004529	1,006070	1,001351	1,005024	11	8
1-Ф-1	16,35	1,004642	1,006221	1,001385	1,005149	11	8
1-Г-1	16,77	1,004732	1,006342	1,001412	1,005249	10	7
1-Г-2	17,09	1,004823	1,006463	1,001439	1,005349	10	8
1-А-6	19,21	1,005421	1,007265	1,001617	1,006013	12	8
1-Ф-4	19,64	1,005542	1,007428	1,001654	1,006147	12	7
1-Ф-5	21,26	1,005999	1,008040	1,001790	1,006654	9	6
1-А-9	21,63	1,006104	1,008180	1,001821	1,006770	15	9
1-А-10	22,48	1,006344	1,008502	1,001893	1,007036	9	7
1-А-11	24,14	1,006812	1,009130	1,002032	1,007556	15	12
1-Г-4	30,48	1,008601	1,011527	1,002566	1,009540	17	11
1-Ф-6	30,85	1,008706	1,011667	1,002597	1,009656	14	9
Среднее						16	10

среднее принимается лишь в самом конце вычислений при определении силы света для каждой эталонной лампы в русских единицах. Во всех же промежуточных вычислениях приняты поправки на уменьшение силы света ламп сравнения—свои для каждого наблюдателя. В нижеследующей ведомости В приведены коэффициенты, на которые множилась вычисленная освещенность каждой эталонной лампы (по силе света из сертификата и найденному расстоянию) для учета падения силы света ламп сравнения.

Вопрос о том, действительно ли верно сделанное ранее предположение о прямолинейном падении силы света ламп сравнения с течением времени горения—остается открытым. Возможно, что лампы сравнения имеют несколько иную силу света в первое время зажигания, чем в последующее, так как эти лампы имеют в колбе химические реактивы, которые, возможно, все время так или иначе действуют. Одно лишь можно утверждать, что отклонения от сделанного предположения лежат за пределами точности небольшого числа световых измерений. Следует заметить, что среднее изменение силы света двух ламп сравнения за время горения в течение всей работы—32 часа—составляет всего лишь 0,82%. Если бы вовсе не учитывать эту величину, то размер русского значения силы света вовсе не изменился бы по сравнению с принятым для него значением, но силы света отдельных ламп изменилось бы, при том на величину не больше $\pm 0,41\%$.

Для того, чтобы изменение силы света не влияло на измерения, надлежит вслед за каждым измерением лампы основного эталона измерять лампу вторичного эталона. В этом случае передача точного значения единицы силы света от первичного эталона ко вторичному была бы наиболее совершенна. В данной работе оказалось затруднительным это осуществлять, потому что вторичные эталонные лампы значительно разнятся по силе света от основных. Вследствие этого требовалась некоторая перестановка в ставнях при каждом переходе от основного ко вторичному эталону. Перестановка же в обстановке опыта нежелательна.

Некоторые повторные измерения.

На протяжении одного рабочего дня оказывалось возможным измерить не более 16 ламп. В двух случаях последняя измерявшаяся эталонная лампа оставалась на скамье до следующего дня. При этом прохождение электрического тока через нее и лампы сравнения, конечно, прекращалось.

Ведомость Г-а.

Повторное измерение некоторых ламп.

Метка лампы	Изменения силы света при повторном измерении по отношению к первому измерению тем же наблюдателем и по той же лампе сравнения; проценты				Изменения силы света при повторном измерении по отношению к среднему значению из 8 наблюдений; проценты				Отклонение в силе света при повторном измерении (по 4 наблюдениям) по отношению к средней силе света (по 8 наблюд.) проценты
	1-й наблюдатель		2-й наблюдатель		1-й наблюдатель		2-й наблюдатель		
	1-ая лампа сравнения	2-ая лампа сравнения	1-ая лампа сравнения	2-ая лампа сравнения	1-ая лампа сравнения	2-ая лампа сравнения	1-ая лампа сравнения	2-ая лампа сравнения	
1-В-7	+0,04	+0,30	+0,52	-1,04	+0,28	-0,27	+0,21	-0,78	-0,14
1-Г-5	+0,08	+0,30	-0,07	-1,25	+0,05	+0,20	-0,71	-0,46	-0,22

В начале следующего рабочего дня эта лампа заново сличалась с лампами сравнения. Обыкновенно, данные повторного измерения получались иными. Ведомость Г-а содержит более подробные сведения.

В нижеследующей ведомости Г-б содержатся данные для ламп, измерявшихся дважды через некоторый промежуток времени и при новой установке эталонной лампы на фотометрической скамье.

Ведомость Г-б.

Повторное измерение некоторых ламп.

Метка лампы	Изменения силы света при повторном измерении по отношению к первому измерению тем же наблюдателем и по той же лампе сравнения; проценты				Изменения силы света при повторном измерении по отношению к среднему значению из 8 наблюдений; проценты				Отклонение в силе света при повторном измерении (по 4 наблюдениям) по отношению к средней силе света (по 8 наблюд.); проценты
	1-й наблюдатель		2-й наблюдатель		1-й наблюдатель		2-й наблюдатель		
	1-ая лампа сравнения	2-ая лампа сравнения	1-ая лампа сравнения	2-ая лампа сравнения	1-ая лампа сравнения	2-ая лампа сравнения	1-ая лампа сравнения	2-ая лампа сравнения	
1-А-5	+0,22	+0,25	+0,12	-0,10	+0,30	+0,28	-0,35	-0,48	+0,06
1-А-6	-0,17	-0,08	+0,31	-0,06	+0,04	+0,23	-0,47	+0,11	+0,01
1-А-8	-0,72	-0,65	-0,83	+0,05	+0,27	+0,50	-0,45	-0,34	+0,27
1-А-9	+0,90	+1,41	+1,27	-1,20	-0,40	-0,39	-0,82	-0,75	-0,59
1-А-10	-0,07	-0,06	-0,15	-0,51	+0,34	-0,08	+0,23	-0,72	+0,05
1-А-11	+0,18	-0,18	+0,05	+0,76	+0,19	-0,12	+0,04	+0,69	+0,14
1-А-12	-0,16	-0,65	-0,85	-0,78	-0,12	+0,53	-0,24	-0,46	+0,11
1-Ф-4	+0,29	+0,19	-0,09	-0,42	+0,16	+0,33	-0,01	-0,50	-0,00
1-Ф-5	+0,02	+0,17	+0,68	+0,64	+0,11	+0,10	+0,04	+0,40	+0,19
1-Ф-6	-0,68	-1,75	-1,41	-1,61	+0,27	-0,55	-1,27	-1,20	-0,69
1-Г-4	+0,00	-0,08	+0,32	-1,10	-0,07	-0,19	+0,51	-0,62	-0,09

Среднее арифметическое ¹⁾ + 0,20
 " квадратичное ²⁾ + 0,30

Вообще говоря, могут иметься следующие причины, вызывающие изменения в значении силы света при повторном измерении.

1) Сила света эталонной лампы при повторном зажигании не отличается постоянством.

2) Сила света ламп сравнения также не постоянна при повторном зажигании.

3) Установка эталонной лампы оказывается не одинаковой.

4) Имеются физиологические колебания в свойствах глаз наблюдателей. Первое измерение всегда производилось более или менее утомленным глазом. Повторное измерение выполнялось свежим глазом.

Более углубленное рассмотрение влияния тех или иных причин должно быть предметом совершенно особого опыта и не входило в задачу данной работы. Очевидно, обстановка такого опыта не может быть простой. Ведь если даже признать одновременное действие всех причин, то все же надо отметить, что совокупное их влияние дает разницу в силе света, лежащую в пределах точности обычных световых измерений. Поэтому выделить действие вышеотмеченных двух первых причин не легко ³⁾.

¹⁾ Включая данные ведомости Г-а.

²⁾ В частности, требуется значительное число опытных наблюдателей.

Для целей настоящей работы достаточно лишь установить на основании данных ведомости Г, что проистекающие отсюда ошибки в оценке силы света лежат в пределах, обычных для световых измерений. Поэтому естественно их отнести к случайным ошибкам измерений и соответственным образом учитывать.

Вычисление единицы освещенности по английским и по французским лампам.

Ход вычислений единицы освещенности по английским лампам был подобен тому, что уже ранее упомянуто, т.е. численное значение силы света каждой лампы, указанное в сертификате National Physical Laboratory, делилось на квадрат расстояния, найденного каждым наблюдателем по каждой лампе сравнения. Полученное число множилось на соответственный коэффициент, данный в ведомости В, для учета ослабления силы света ламп сравнения. Затем находилось среднее (арифметическое) значение освещенности на экране фотометра от каждой лампы сравнения для каждого наблюдателя отдельно. Подобным же образом было поступлено для вычисления единицы освещенности по французским лампам. При вычислении среднего значения освещенности за освещенность от тех ламп, которые измерялись дважды, принималось среднее арифметическое значение ее, взятое по первому и повторному измерению. Нижеприводимые ведомости Д и Е содержат подробности.

Ведомость Д.
Освещенность на экране фотометра по английским лампам.

Метка лампы	Освещенность, люксы			
	1-й наблюдатель		2-й наблюдатель	
	1-ая лампа сравнения	2-ая лампа сравнения	1-ая лампа сравнения	2-ая лампа сравнения
1-А-1	14,95 ₈₁	15,90 ₄₃	15,36 ₈₂	15,61 ₁₇
1-А-2	14,87 ₁₇	15,27 ₄₄	15,25 ₉₇	15,58 ₁₃
1-А-3	14,99 ₈₂	15,37 ₈₂	15,32 ₉₄	15,57 ₀₅
1-А-4	15,01 ₅₉	15,36 ₄₃	15,29 ₇₈	15,60 ₇₇
1-А-5 ¹⁾	15,01 ₉₀	15,38 ₆₂	15,43 ₁₁	15,82 ₃₆
	14,97 ₇₁	15,34 ₈₄	15,41 ₆₅	15,83 ₆₇
1-А-6	14,96 ₆₉	15,30 ₅₉	15,36 ₀₈	15,63 ₀₉
	14,98 ₇₇	15,29 ₃₆	15,31 ₈₇	15,64 ₇₄
1-А-7	14,97 ₉₄	15,31 ₆₈	15,38 ₈₇	15,65 ₂₂
	14,96 ₆₆	15,42 ₁₇	15,29 ₇₈	15,82 ₃₅
1-А-8	15,02 ₁₃	15,35 ₉₈	15,28 ₄₇	15,80 ₆₈
	15,13 ₁₈	15,46 ₀₆	15,41 ₆₁	15,79 ₉₀
1-А-9	15,08 ₈₁	15,46 ₁₆	15,47 ₈₀	15,83 ₁₅
	14,95 ₄₁	15,24 ₈₂	15,28 ₆₉	15,64 ₉₇
1-А-10	14,90 ₄₅	15,33 ₉₅	15,24 ₀₈	15,75 ₇₁
	14,90 ₁₆	15,33 ₁₁	15,26 ₈₅	15,67 ₁₆
1-А-11	14,90 ₄₆	15,32 ₇₆	15,24 ₈₁	15,72 ₆₉
	14,87 ₉₈	15,30 ₃₀	15,24 ₉₄	15,60 ₇₈
1-А-12	14,95 ₇₇	15,26 ₅₁	15,26 ₄₂	15,73 ₈₂
	14,98 ₄₁	15,36 ₇₆	15,39 ₇₁	15,61 ₇₀
Среднее ²⁾	14,97 ₀₇	15,34 ₀₄	15,32 ₆₂	15,68 ₂₉
			15,33 ₀₂	

¹⁾ Верхняя строка соответствует первому измерению, нижняя — повторному.

²⁾ См. в тексте, как оно вычислялось.

Ведомость Е.

Освещенность на экране фотометра по французским лампам.

Метка лампы	Освещенность, люксы			
	1-й наблюдатель		2-й наблюдатель	
	1-ая лампа сравнения	2-ая лампа сравнения	1-ая лампа сравнения	2-ая лампа сравнения
1-Ф-1	14,62 ₀₀	14,94 ₇₃	14,73 ₇₇	15,24 ₄₃
1-Ф-2	15,04 ₀₀	15,41 ₀₉	15,32 ₆₂	15,74 ₈₅
1-Ф-3	15,21 ₀₃	15,57 ₀₄	15,45 ₆₆	15,73 ₀₈
1-Ф-4 ¹⁾	14,74 ₅₀	15,07 ₀₆	15,08 ₁₀	15,41 ₅₁
	14,70 ₅₀	15,04 ₂₁	15,04 ₇₉	15,48 ₀₁
1-Ф-5	14,94 ₀₁	15,33 ₀₃	15,38 ₃₅	15,68 ₈₀
	14,94 ₇₄	15,30 ₁₉	15,28 ₂₅	15,58 ₇₄
1-Ф-6	14,47 ₀₈	14,79 ₇₁	14,90 ₀₁	15,22 ₂₅
	14,57 ₀₅	15,00 ₁₃	15,12 ₉₉	15,47 ₀₈
1-Г-1	14,60 ₀₃	15,08 ₈₃	14,89 ₄₁	15,25 ₀₉
1-Г-2	14,83 ₀₈	15,25 ₀₇	15,11 ₁₅	15,50 ₅₄
1-Г-3	14,98 ₅₁	15,37 ₁₆	15,20 ₀₀	15,53 ₃₅
	14,59 ₈₃	14,98 ₅₄	14,80 ₇₆	15,17 ₈₀
1-Г-4	14,59 ₄₇	14,97 ₄₉	14,83 ₇₆	15,34 ₅₄
	15,00 ₃₁	15,40 ₀₀	15,27 ₀₅	15,56 ₄₆
1-Г-5	14,99 ₀₀	15,34 ₀₇	15,43 ₂₅	15,76 ₁₇
	14,91 ₂₉	15,20 ₃₀	15,10 ₁₈	15,55 ₆₀
Среднее	14,83 ₀₀	15,20 ₀₀	15,12 ₀₈	15,49 ₄₅
			15,16 ₇₁	

Точный размер русской единицы освещенности определяется, следовательно, по освещенности на экране фотометра, как

$$\frac{15,16_{71} + 15,33_{05}}{2} = 15,24_0 \text{ люкса.}$$

Английский размер люкса отличается на $-0,5_{30}\%$.

Французский размер люкса отличается на $+0,5_{90}\%$.

Разница между английским и французским значением по отношению к среднему их значению составляет 1,07%.

Вычисление силы света эталонных ламп в русской единице.

Для того, чтобы вычислить значение силы света каждой эталонной лампы в русской единице, необходимо вычисленную среднюю освещенность — в русских единицах — разделить на соответственный коэффициент, учитывающий ослабление силы света ламп сравнения (показанный в ведомости В) и помножить на квадрат расстояния, найденного при световых измерениях.

В математическом виде вычисления производились следующим образом. Вводятся такие обозначения.

1. Сила света эталонных ламп по данным сертификатов (первые одиннадцать измерялись один раз, остальные — 2 раза): $A_1, A_2, \dots, A_{11}, A_{12}, A_{13}, \dots, A_n, \dots, A_{24}$.

¹⁾ Верхняя строка соответствует первому измерению, нижняя — повторному.

2. Расстояние от эталонной лампы до экрана фотометра по измерениям одного наблюдателя с одной лампой сравнения при первом измерении: $r'_{11}, r'_{12}, \dots, r'_{1n}, r'_{112}, r'_{122}, \dots, r'_{1n2}, r'_{113}, \dots, r'_{1n3}, \dots, r'_{11n}, \dots, r'_{1nn}$.

3. То же при повторном измерении: $r''_{12}, r''_{13}, \dots, r''_{1n}, \dots, r''_{24}$.

4. Средняя освещенность в русских единицах по данным одного наблюдателя с одной лампой сравнения: E .

5. Коэффициент, учитывающий ослабление силы света лампы сравнения к моменту измерения данной эталонной лампы (по измерениям одного наблюдателя с одной лампой сравнения) при первом измерении: $k'_{11}, k'_{12}, \dots, k'_{1n}, k'_{112}, k'_{122}, \dots, k'_{1n2}, k'_{113}, \dots, k'_{1n3}, \dots, k'_{11n}, \dots, k'_{1nn}$.

6. Тот же коэффициент при повторном измерении: $k''_{12}, k''_{13}, \dots, k''_{1n}, \dots, k''_{24}$.

7. Сила света эталонных ламп в русских единицах по измерениям одного наблюдателя с одной лампой сравнения: $I'_1, I'_2, \dots, I'_i, \dots, I'_{11}, I'_{12}, I'_{13}, \dots, I'_{1n}, \dots, I'_{11n}, \dots, I'_{1nn}$.

8. То же при повторном измерении: $I''_{12}, I''_{13}, \dots, I''_{1n}, \dots, I''_{24}$.

Имеем:

$$E = \frac{1}{24} \left[\sum_{i=1}^{i=11} \frac{K_i A_i}{r'_{i1}{}^2} + \frac{1}{2} \sum_{n=12}^{n=24} \left(\frac{K_n A_n}{r'_{n1}{}^2} + \frac{k'_n A_n}{r'^2_{n2}} \right) \right]$$

$$I'_{i,n} = \frac{E}{k'_{i,n}} r'_{i,n}{}^2; \quad I''_n = \frac{E}{k''_n} r''_{n2}{}^2.$$

Подобным же образом вычисляется сила света для той же эталонной лампы и того же наблюдателя, но по другой лампе сравнения, а равно и для другого наблюдателя по каждой лампе сравнения. Получаются, следовательно, для каждой из 11-ти эталонных ламп, измерявшихся один раз, — четыре значения силы света, а для каждой из 13-ти ламп, измерявшихся два раза — восемь значений. Окончательное значение силы света каждой эталонной лампы получается, как среднее арифметическое соответственно из четырех или восьми значений, полученных вышеописанным путем.

ЦВЕТОВЫЕ СВОЙСТВА БЕЛЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИМЕНЯЕМЫХ В СВЕТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ, И ВЛИЯНИЕ ИХ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ.

Е. Д. Девяткова.

Цель работы. Точные световые измерения в настоящее время производятся обыкновенно на фотометрической скамье, при чем все фотометры снабжаются белыми матовыми экранами. Экраны эти являются ответственной частью прибора, так как о силе света источника приходится судить по яркости освещенного экрана. Состав экранов, применяемых в фотометрии, бывает различным. До сих пор оставались не вполне выясненными свойства и влияние того или иного вещества, из которого сделан экран, на результаты измерений. Для получения наибольшей достоверности последних необходимо иметь возможно более белые экраны, т.е. отражающие все видимые длины волн в одинаковой степени. Иначе картина распределения интенсивности в спектре данного источника будет при отражении искажаться в той или иной степени, и глаз наблюдателя получит в фотометре впечатление, не соответствующее действительному распределению интенсивности в спектре источника.

Задачей данной работы и было исследование отражательной способности белых пигментов, из которых изготовляются или могут быть изготовлены фотометрические экраны. При этом нужно было выработать метод, который позволил бы в дальнейшем производить подобные измерения без большой затраты времени и с достаточной степенью точности. В метрологических условиях каждый применяемый при световых измерениях экран должен быть предварительно изучен. Кроме того, с течением времени состояние белой поверхности может меняться. Поэтому при точных работах всегда может встретиться необходимость произвести подобные исследования экранов.

В виду того, что измерение коэффициента отражения производилось в данном случае для вполне определенных целей, — условия измерений и были выбраны соответствующим образом. Именно, так как на фотометрической скамье экран помещается так, что лучи падают на него нормально и отражаются на зеркала или призмы под углом 45° (примерно), то и изучался характер отражения в таких же условиях.

Для изготовления белых поверхностей, применяемых при разного рода световых измерениях, обычно употребляются $MgCO_3$, MgO , $BaSO_4$, $CaSO_4$, ZnO , так как все эти вещества обладают большим суммарным коэффициентом отражения и считаются самыми белыми. Кроме того, они наиболее удобны для применения в качестве красителей, приготовляемых известными способами.

О методах измерения коэффициента рассеянного отражения. Для измерения спектрального коэффициента рассеянного отражения предложено несколько различных методов. Применяемые при этом приборы могут быть разделены на 3 отдельные группы. Именно—

измерения могут производиться: 1) помощью термоэлемента, болометра и т. п., 2) помощью глаза и 3) помощью фотоэлемента.

Первый способ измерения применим, главным образом, в инфракрасной части спектра, а также в области длинных волн видимого спектра (от 550 $m\mu$). В области более коротких длин волн измерения таким способом затрудняются, и точность понижается по причине малой величины энергии, приходящейся на эту часть спектра, почему и целесообразно пользоваться другими методами.

Измерение коэффициента рассеянного отражения помощью глаза возможно в области длин волн, примерно, от 400 $m\mu$ до 700 $m\mu$. Можно указать, как более разработанные, следующие методы, примененные для этой цели.

При исследовании белых пигментов Pfund'ом¹⁾ применялся такой метод. Свет претерпевает многократное отражение от испытуемых поверхностей в особом колориметре, после чего в исследуемом пучке присутствуют в значительно большем количестве лучи, наиболее отражаемые. Однако, этот прибор может дать точность, достаточную лишь для технических измерений по следующим причинам. Во-первых, — конструкция его такова, что в исследуемом пучке света могут присутствовать лучи, отразившиеся от поверхности неодинаковое число раз, что влечет ошибки при вычислении коэффициента отражения. Во-вторых, — требуется применение стандарта белого цвета, за который автором произвольно принято матовое стекло.

Изучая спектральное отражение поверхностей при проверке шкалы цветов Munsell'a, Priest, Gibson, Mc. Nicolas²⁾ (в Бюро Стандартов) пользовались также зрительным методом. При этом применялся спектрофотометр König-Martens'a с особым осветительным устройством. Испытуемый образец и эталонная пластинка из углекислого магния освещались или при помощи ламп накаливания, или ртутными дугами. Точность полученных значений, по данным авторов, равнялась 2%.

В области длин волн от 400 до 500 $m\mu$ измерения помощью глаза уже представляют некоторые трудности по причине сравнительно низкой его чувствительности, с одной стороны, и малой излучательной способности (в этой области) обычно применяемых источников — с другой (исключая источники монохроматического света большой интенсивности, например, ртутные лампы). Для этой части видимого спектра имеет большое значение фотоэлектрический метод. Однако, применение фотоэлементов для точных измерений требует еще очень тщательного их изучения и выяснения условий, в которых они могут применяться и давать в достаточной мере достоверные результаты. В настоящее время наиболее точным и разработанным можно считать нулевой метод, примененный впервые Richtmyer'ом, затем усовершенствованный Gibson'ом³⁾. Но все же получаемая при этом точность невелика и колеблется (по данным Gibson'a) в пределах от 2% до 5% в зависимости от величины коэффициента отражения.

По условиям настоящей работы применение глаза для измерений оказывается наиболее удобным, так как исследуется, главным образом, та часть спектра, где этот метод в обычных условиях является наиболее чувствительным и заслуживающим доверия, именно, область между 500 $m\mu$ и 650 $m\mu$. Отступление от белого цвета фотометрических экранов именно

¹⁾ Pfund. The colorimetry of nearly-white surfaces. Journ. of The Frankl. Inst. 1920 Vol. 189 № 3.

²⁾ Priest, Gibson, Mc. Nicolas. An examination of the Munsell color system. Tech. Pap. of the B. of St. № 167. 1920.

³⁾ Gibson. Photoelectric spectrophotometry by the null method. Sc. Pap. of the B. of St. № 349.

в этой области может дать наибольшие ошибки при точных световых измерениях благодаря тому, что наибольшая часть зрительного ощущения от обычно применяемых источников света обуславливается этой частью спектра.

Нужно заметить, что при измерениях коэффициента отражения во всех до сих пор опубликованных работах пользовались стандартом белого цвета и получали коэффициент отражения по отношению к этой белой поверхности. Стандарт же белого цвета до сих пор не установлен достаточно благонадежно и окончательно. В течение долгого времени стандартом считался обыкновенно гипс. В настоящее же время мнения расходятся. В Бюро Стандартов, например, обычно, как наиболее белое вещество, принимается углекислый магний. Ostwald считает стандартом белого цвета поверхность, полученную из прессованного серноокислого бария (слой в 3 мм). Lovibond в своей систематике цветов предложил пользоваться в качестве стандарта белого цвета гипсом. Часто наиболее белым веществом считают то, которое обладает наибольшим суммарным коэффициентом отражения. Но этот признак сам по себе отнюдь не является достаточным. Вместе с тем различные авторы дают для одного и того же вещества несопадающие значения суммарного коэффициента отражения.

В данной работе требовалось исследовать матовые поверхности с целью выяснить, обладают ли они избирательным отражением или в достаточной степени равномерно отражают все длины волн видимого спектра. Коэффициент отражения должен был быть измерен в зависимости от длины волны, не будучи отнесен к какому-либо образцу белого цвета.

Описание установки и метод измерений. Для измерения коэффициента отражения белых поверхностей был применен спектрофотометр König-Martens'a. Можно считать, что в настоящее время он является одним из самых совершенных типов спектрофотометра. Применяемый в нем поляризационный метод сравнения яркостей полей дает большую, чем другие, точность.

Установка оптической системы прибора была предварительно проверена обычным методом. Ширина щелей объектива была взята 0,2 мм. Ширина щели окуляра изменялась от 0,25 мм в красной части спектра до 0,90 мм — в крайней фиолетовой (для 437 м μ). Это давало возможность выделять приблизительно одинаковой ширины область длин волн по всему видимому спектру — около 9 м μ . Ширина выделяемой области спектра, в зависимости от ширины щелей, была определена экспериментально. Применение более узких щелей, оказалось нецелесообразным, так как уменьшение ширины щелей, увеличивая чистоту спектра, влечет вместе с тем уменьшение яркости полей. Последнее обстоятельство понижает точность измерений. Таким образом, необходимо было выбрать наиболее благоприятные условия, что и было выполнено опытным путем. Одна из щелей спектрофотометра в течение всей работы освещалась при помощи вспомогательного источника света L_1 (рис. 1), лучи которого проходили через диафрагму s_1 , матовое стекло k_1 ¹⁾ и призму полного внутреннего отражения d . Этот источник света является лишь промежуточным, т. е. лампой сравнения. Перед второй же щелью помещался либо источник света L_2 так, что лучи его падали нормально на щель, проходя через диафрагму s_2 и матовое стекло k_2 , — либо испытуемая пластинка A под углом 45° к плоскости щели. При этом пластинка освещалась тем же источником L_2 , лучи от которого падали на нее приблизительно нормально,

¹⁾ Матовые стекла были изготовлены с возможно более тонкой матировкой, чтобы поглощение в них света было незначительно. В то же время для получения равномерного поля спектрофотометра было необходимо, чтобы стекла вполне рассеивали свет, не пропуская прямых лучей от лампы.

так что отклонение от нормали для крайних лучей не превышало $5,5^\circ$. Перед щелью находилось то же матовое стекло k_2 в прежнем положении. Таким образом, во всех случаях сравнивалась яркость полей, освещенных лампой или светом, отраженным от экрана при наличии одного и того же матового стекла.

Применение матовых стекол вызывалось следующими причинами. 1) Нужно было иметь равномерно освещенное поле. 2) Было совершенно необходимо, чтобы во всех измерениях участвовала вся накаленная нить лампы. Различные ее участки имеют не одну и ту же температуру и, если для освещения применяются то одни, то другие ее участки, спектр света, участвующего в измерениях, может оказаться различным.

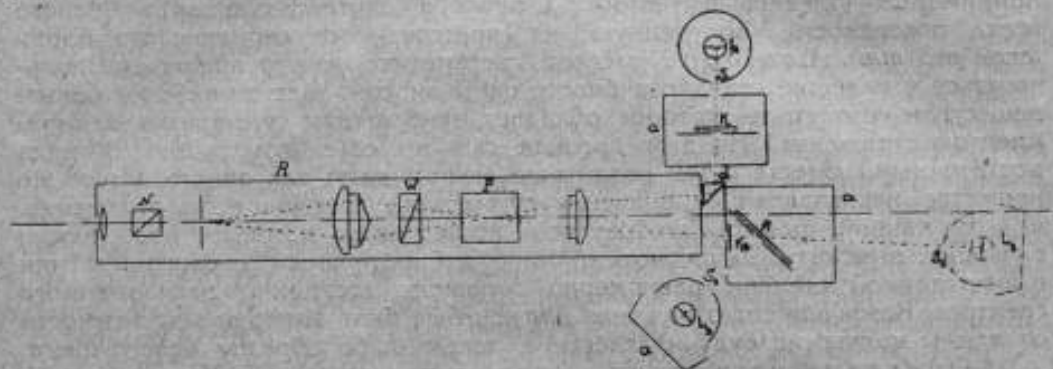


Рис. 1. Схема измерительной установки.

R — спектрофотометр König-Martens'a.
 W — волластонова призма.
 P — разлагающая призма.
 N — николь.
 L_1 и L_2 — источники света.

k_1 и k_2 — матовые стекла.
 s_1 и s_2 — диафрагмы.
 d — призма полного внутреннего отражения.
 a — затемнения.

Применение двух разных источников света для освещения сравниваемых полей, не могло понижать сколько-нибудь заметным образом точность измерений по следующим причинам. Источник света L_1 служил, как уже указывалось, лишь промежуточным, т.е. сначала сравнивалась яркость полей, освещенных лампами L_1 и L_2 . Затем производилось сравнение яркости полей спектрофотометра, из которых одно попрежнему освещалось источником L_1 , а другое — светом, отраженным от поверхности исследуемого вещества.

Эта поверхность освещалась тем же источником L_2 .

В качестве этого источника применялась 1000-ваттная лампа проекционного типа (наполненная газом)¹⁾. Освещенность испытуемой поверхности равнялась, примерно, 70000 люксов. Это давало возможность иметь яркость поля спектрофотометра около 5×10^{-5} св./см² в желто-зеленой области, 3×10^{-5} св./см² в красной и $1,4 \times 10^{-5}$ св./см² в фиолетовой. Источником света L_1 служила 100-ваттная наполненная газом лампа проекционного типа. Обе лампы были включены параллельно и питались постоянным током от аккумуляторной батареи. Напряжение у ламп поддерживалось постоянным с точностью почти до $\pm 0,05$ вольта (т.е. с точностью до $\pm 0,05\%$).

Напряжение было подобрано так, что температура нитей, а следовательно и характер излучения обеих ламп, были возможно более близки между собою.

¹⁾ Светящаяся нить ее расположена в одной плоскости — площадью около 4 кв. см.

Влияние колебания напряжения в электрической цепи на распределение энергии по спектру было предварительно исследовано, так как благодаря различию накаливаемых вольфрамовых нитей и разным условиям охлаждения одно и то же относительное изменение напряжения могло неодинаково изменять температуру нитей в обеих лампах. Исследование показало, что при изменении напряжения на 10% никакого ощутимого различия в красной, желтой и зеленой области не наблюдается. В области же коротких длин волны (синей и фиолетовой) различие в интенсивности излучения достигает $\pm 1,0\%$. Это показывает, что колебания напряжения, возможные при работе (в пределах $\pm 0,05\%$), не могут влиять сколько нибудь заметным образом на точность измерений.

Следует отметить, что применение двух источников имеет в данном случае некоторые существенные преимущества. В случае одного источника было бы необходимо применять зеркала и линзы, чтобы создать такие условия работы, при которых можно было бы вести измерения, не применяя стандарта белого цвета и имея достаточно большую яркость полей. Измерения при этом значительно усложняются, так как требуется особое изучение всех дополнительных элементов обстановки. Кроме того, всегда возможны некоторые неточности, обусловленные неоднородностью поверхности зеркал и неравномерностью освещения поля. Применение промежуточного источника устраняет также ошибки, могущие произойти вследствие несимметрии прибора или глаза.

Присутствие постороннего рассеянного света, который попадал бы в щели спектрофотометра, могло понизить точность измерений. Поэтому приняты особые меры для устранения его¹⁾.

Оптическая система самого спектрофотометра может давать некоторое количество постороннего света, т.е. отраженного и рассеянного ее частями и отличающегося по длинам волн от света исследуемой области. Поэтому прошедший через щель окуляра свет был исследован при помощи отдельного спектроскопа. Оказалось, что в исследуемой области спектра постороннего света в ощутимом количестве не имеется.

В спектрофотометре König-Martens'a два пучка лучей (разложенные призмой), падают на волластонову призму и поляризуются ею. Далее—для измерений из одного пучка света берутся лучи поляризованные вертикально, а из другого—горизонтально. Если на поляризатор падает свет неполяризованный, силы света лучей вертикально и горизонтально поляризованных равны. Если же падающий свет отчасти поляризован, он делится на две части таким образом. Если обозначить через P —силу всего падающего света, через Q —силу части неполяризованной и через p —силу поляризованной части, так что:

$$P = Q + p, \dots \dots \dots (1)$$

то сила света вертикально поляризованного луча будет равна:

$$I_v = \frac{Q}{2} + kp, \dots \dots \dots (2a)$$

а горизонтально поляризованного:

$$I_h = \frac{Q}{2} + (1-k)p, \dots \dots \dots (2b)$$

где k —коэффициент, зависящий от направления поляризации.

¹⁾ Экспериментально было установлено, что все примененные для этого затемнения ставни, экраны и проч. не искажали величину интенсивности и спектральный состав света источника, добавляя к нему свет ими рассеянный.

В данной работе необходимо было учесть влияние поляризации лучей так как она могла быть различна в случае освещения щели светом, идущим непосредственно от источника L_2 или отраженным от белой поверхности.

По исследованию Forsythe'a и Worthing'a¹⁾ свет, испускаемый прямолинейной цилиндрической вольфрамовой нитью, отчасти поляризован (примерно, на 20%), при чем плоскость колебаний электрического вектора перпендикулярна к направлению нити и величина поляризации не зависит от длины волны.

В данном случае применялась лампа со спиральной нитью. Присутствие поляризованных лучей в ее свете было особо исследовано. Для этого лампа L_2 была помещена перед обоими щелями спектрофотометра, при чем матовое стекло k_2 было расположено также перед двумя щелями. Оказалось, что отношение сил света вертикально к горизонтально поляризованному по всему спектру оставалось постоянным в пределах точности измерений. То же было найдено и для лампы L_1 . Несколько более точные данные можно было получить следующим образом. Сначала сравнивалась сила света J_1 вертикально поляризованных лучей от источника L_1 с силой света J_2 горизонтально поляризованных от источника L_2 , а затем — наоборот. Полученные при этом отклонения от среднего значения из двух этих сравнений помещены в таблице 1-й.

Таблица 1.

Длина волны	$\Delta = \frac{\frac{J_{2v}}{J_{1v}} - \frac{J_{2h}}{J_{1h}}}{\frac{J_{2v}}{J_{1v}} + \frac{J_{2h}}{J_{1h}}} \times 100$
437	+ 0,5 ₀
462	+ 1,4 ₄
487	+ 0,2 ₉
510	+ 0,2 ₀
530	- 0,3 ₅
555	+ 0,0 ₆
580	+ 0,6 ₅
615	- 0,5 ₆
650	- 0,5 ₀
702	+ 2,8 ₈

Отклонения от среднего значения, как видно из таблицы, дают основание считать с достаточной степенью точности, что поляризованных лучей в заметном количестве в свете ламп не обнаружено почти по всей исследуемой области спектра. Ибо все отклонения, за исключением двух для длин волн 462 $m\mu$ и 702 $m\mu$, лежат на пределе точности самих измерений (о точности см. ниже). В двух случаях, где получено значительно большее отклонение, оно может обуславливаться побочными причинами. Вопрос о них пока более подробно не был исследован. Вычисления же окончательных результатов велись таким образом (см. ниже), что присутствие поляризованного света не могло влиять и вносить ошибку.

¹⁾ Forsythe и Worthing. The properties of tungsten. Astr. Journ. 1925, стр. 146. T. LXI.

При отражении от матовой поверхности, по исследованию Умова¹⁾, частичная поляризация имеет место, при чем величина ее тем больше, чем больше поглощаются лучи.

Если величина поляризации при отражении от матовых поверхностей меняется в зависимости от длины волны, то это обстоятельство должно быть учтено при определении коэффициента отражения. Поэтому измерения производились следующим образом. Были получены отдельно относительные кривые распределения силы света в спектре лучей вертикально и горизонтально поляризованных. Для этого испытуемый экран помещался попеременно перед обоими щелями спектрофотометра. Сила света в таком случае была соответственно равна $\frac{Q}{2} + kp$ и $\frac{Q}{2} + (1-k)p$ [см. (2а) и (2в)].

Величина отношения сил света вертикально и горизонтально поляризованных была кроме того определена особо (обычным методом определения поляризации)²⁾ для длины волны 555 $m\mu$. Это следовало сделать в виду того, что яркость поля, освещенного лампой сравнения, при первом ее положении и при втором могла быть не одна и та же. При вычислении же коэффициента отражения следовало пользоваться величинами, отнесенными к одной и той же яркости.

Вычисление коэффициента отражения. Коэффициент отражения r для данного направления представляет отношение силы отраженного света к силе падающего. Т.-е., если обозначить попрежнему через P общую силу света поляризованного и неполяризованного, то коэффициент отражения будет:

$$r = \frac{P_{\lambda_1}}{P_{\lambda_2}} \dots \dots \dots (3)$$

где P_{λ_1} — сила света длины волны λ_1 , отраженного от испытуемого экрана; P_{λ_2} — сила света той же длины волны, падающего на экран (от лампы L_2).

Но

$$P_{\lambda_1} = J_{1\lambda_1} + J_{2\lambda_1} \dots \dots \dots (4a)$$

$$P_{\lambda_2} = J_{2\lambda_2} + J_{1\lambda_2} \dots \dots \dots (4b)$$

где $J_{1\lambda_1}$ — сила света, соответствующая составляющей электрического вектора с вертикальными колебаниями, а $J_{2\lambda_1}$ — с горизонтальными.

Поэтому

$$r = \frac{P_{\lambda_1}}{P_{\lambda_2}} = \frac{J_{1\lambda_1} + J_{2\lambda_1}}{J_{2\lambda_2} + J_{1\lambda_2}} \dots \dots \dots (5)$$

Так как в данном случае свет падающий можно считать неполяризованным, т.-е.

$$J_{2\lambda_1} = J_{1\lambda_1} \dots \dots \dots (6)$$

то выражение (5) дает:

$$r = \frac{J_{1\lambda_1} + J_{1\lambda_1}}{2J_{2\lambda_2}} = \frac{J_{1\lambda_1} + J_{1\lambda_1}}{2J_{2\lambda_2}} = \frac{J_{1\lambda_1}}{2J_{2\lambda_2}} + \frac{J_{1\lambda_1}}{2J_{2\lambda_2}} \dots \dots \dots (7)$$

В соответствии с целью данной работы требовалось определить не абсолютную величину коэффициента отражения, но относительные значения

¹⁾ U m o w. Chromatische Depolarisation durch Lichtzerstreuung. Phys. Zs. 1905, стр. 574.

²⁾ Т.-е. экран помещался одновременно перед обоими щелями.

его по всему видимому спектру. Поэтому было необходимо выразить все величины коэффициента отражения в каких-либо относительных единицах. Для каждого образца за единицу была принята величина коэффициента отражения при длине волны 555 мμ. Таким образом, относительный коэффициент отражения может быть представлен окончательно в виде:

$$r = \frac{\frac{J_{2\lambda_1} + J_{2\lambda_2}}{2J_{2\lambda_1}J_{2\lambda_2}} \cdot \frac{J_{2\lambda_1} + J_{2\lambda_2}}{J_{2\lambda_1} + J_{2\lambda_2}}}{\frac{J_{2\lambda_0} + J_{2\lambda_0}}{2J_{2\lambda_0}}} = \frac{J_{2\lambda_1} + J_{2\lambda_2}}{J_{2\lambda_1} + J_{2\lambda_2}} \cdot \frac{J_{2\lambda_1} + J_{2\lambda_2}}{J_{2\lambda_0} + J_{2\lambda_0}} \quad (8)$$

при чем $\lambda_0 = 555$ мμ.

Вычисления сводились при этом к следующему:

Из опыта были получены числа, выражающие:

1) Отношения сил света от источников L_2 и L_1 :

$$\frac{J_{2\lambda_1}}{J_{1\lambda_1}} \text{ и } \frac{J_{2\lambda_2}}{J_{1\lambda_2}} \quad (9)$$

2) Отношения силы света, отраженного от испытуемой поверхности, к силе света от источника L_1 :

$$\frac{J_{2\lambda_1}}{J_{1\lambda_1}} \text{ и } \frac{J_{2\lambda_2}}{J_{1\lambda_2}} \quad (10)$$

3) Отношения силы света луча вертикально поляризованного к силе горизонтально поляризованного для длины волны 555 мμ в случае света, отраженного от испытуемой поверхности:

$$\frac{J_{2\lambda_0}}{J_{1\lambda_0}} = \alpha_0 \quad (11)$$

Принимается, что:

$$\frac{J_{2\lambda_0}}{J_{1\lambda_0}} = 1 \text{ и } \frac{J_{2\lambda_0}}{J_{1\lambda_0}} = 1.$$

Тогда можем выразить отношения (9) в соответствующих относительных единицах:

$$\frac{J_{2\lambda_1}}{J_{1\lambda_1}} \times \frac{J_{1\lambda_0}}{J_{2\lambda_0}} = \frac{J''_{2\lambda_1}}{J''_{1\lambda_1}} \quad (12a)$$

$$\frac{J_{2\lambda_2}}{J_{1\lambda_2}} \times \frac{J_{1\lambda_0}}{J_{2\lambda_0}} = \frac{J''_{2\lambda_2}}{J''_{1\lambda_2}} \quad (12b)$$

Далее можно исключить из вычислений промежуточный источник света L_1 :

$$\frac{J_{2\lambda_1}}{J_{1\lambda_1}} \times \frac{J''_{1\lambda_1}}{J''_{2\lambda_1}} = \frac{J_{2\lambda_1} \times J_{1\lambda_1} \times J_{2\lambda_0}}{J_{1\lambda_1} \times J_{2\lambda_1} \times J_{1\lambda_0}} = \frac{J'''_{2\lambda_1}}{J'''_{1\lambda_1}} \quad (13a)$$

$$\frac{J_{2\lambda_2}}{J_{1\lambda_2}} \times \frac{J''_{1\lambda_2}}{J''_{2\lambda_2}} = \frac{J_{2\lambda_2} \times J_{1\lambda_2} \times J_{2\lambda_0}}{J_{1\lambda_2} \times J_{2\lambda_2} \times J_{1\lambda_0}} = \frac{J'''_{2\lambda_2}}{J'''_{1\lambda_2}} \quad (13b)$$

Для длины волны $\lambda_0 = 555$ мμ отношение (13a) было принято за единицу:

$$\frac{J'''_{2\lambda_0}}{J'''_{1\lambda_0}} = 1.$$

Тогда на основании (11) для (136) получается:

$$\frac{J''_{2\lambda_0}}{J''_{2\lambda_0}} = \frac{1}{\alpha_0}$$

Отношения (13а) и (136) выражаются теперь в одинаковых единицах:

$$\frac{J''_{2\lambda_1}}{J''_{2\lambda_1}} \times \frac{J''_{2\lambda_0}}{J''_{2\lambda_0}} = \frac{J_{2\lambda_1}}{J_{2\lambda_1}}$$

$$\frac{J''_{2\lambda_1}}{J''_{2\lambda_1}} \times \frac{1}{\alpha} \times \frac{J''_{2\lambda_0}}{J''_{2\lambda_0}} = \frac{J_{2\lambda_1}}{J_{2\lambda_1}}$$

Последние равенства позволяют выразить относительный коэффициент отражения [см. (8)] следующим образом:

$$r' = \frac{\frac{J_{2\lambda_1}}{J_{2\lambda_1}} + \frac{J_{2\lambda_2}}{J_{2\lambda_2}}}{1 + \frac{1}{\alpha_0}}$$

Эта формула и была применена для вычислений в данной работе. Когда падающий на образец свет может быть отчасти поляризован, следует применять для вычисления коэффициента отражения несколько иной метод. В этом общем случае является необходимым измерить отношения сил света вертикально поляризованного луча (J_v) к силе света горизонтально поляризованного (J_h) по всему спектру, как для света, отраженного от испытуемого экрана, так и для идущего прямо от лампы. Таким путем находится:

$$\frac{J_{v\lambda_1}}{J_{h\lambda_1}} = \alpha_1$$

$$\frac{J_{v\lambda_2}}{J_{h\lambda_2}} = \beta_1$$

Тогда выражение (5) для коэффициента отражения можно представить в виде:

$$r = \frac{(1 + \alpha_1) J_{2\lambda_1}}{(1 + \beta_1) J_{2\lambda_1}}$$

и относительная величина r' (по отношению к коэффициенту отражения для λ_0) будет:

$$r' = \frac{\frac{(1 + \alpha_1) J_{2\lambda_1}}{(1 + \beta_1) J_{2\lambda_1}}}{\frac{(1 + \alpha_0) J_{2\lambda_0}}{(1 + \beta_0) J_{2\lambda_0}}}$$

Все промежуточные вычисления остаются прежними.

Результаты измерений. Распределение коэффициента отражения в видимом спектре было исследовано для $MgCO_3$, MgO , $BaSO_4$, $CaSO_4$, ZnO . При этом были взяты тщательно размельченные химически чистые препараты, так как примеси могут заметным образом изменять количество отражаемых лучей. Порошки прессовались, и брался слой толщиной от

двух до трех миллиметров. Кроме всех этих порошков был исследован экран из гипса, который уже применялся при работах в течение двух лет. Измерения дали следующие результаты (см. также рис. 2).

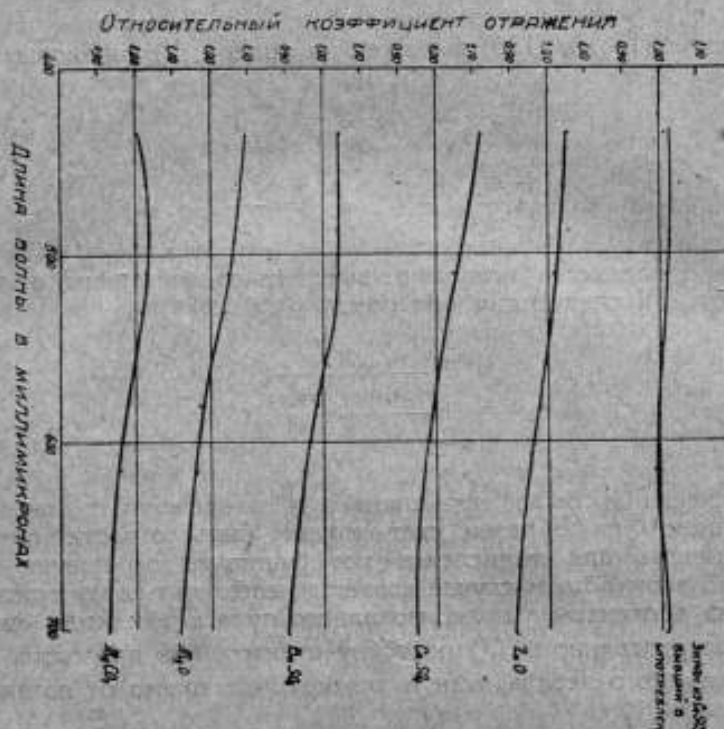


Рис. 2. Относительный коэффициент отражения белых веществ в области видимого спектра.

Таблица 2.

Длина волны, μ	Относительный коэффициент отражения					Экран из CaSO_4 , бывший в употреблении
	MgCO_3	MgO	BaSO_4	CaSO_4	ZnO	
437	1,00 ₃	1,11 ₀	1,04 ₇	1,12 ₁	1,05 ₁₁	1,01 ₀
462	1,02 ₅	1,07 ₀	1,04 ₁	1,10 ₀	1,03 ₆	1,05 ₃
487	1,03 ₅	1,07 ₄	1,03 ₇	1,07 ₃	1,05 ₂	1,02 ₉
510	1,02 ₈	1,04 ₇	1,04 ₀	1,04 ₆	1,01 ₅	1,01 ₅
530	1,01 ₇	1,04 ₁₁	1,03 ₆	1,04 ₇	1,01 ₈	1,02 ₇
555	1,00 ₁	1,00 ₀	1,00 ₀	1,00 ₀	1,00 ₀	1,00 ₀
580	0,97 ₄	0,96 ₇	0,96 ₅	0,99 ₂	0,97 ₇	0,99 ₁
615	0,96 ₁	0,96 ₁₁	0,94 ₇	0,96 ₄	0,95 ₁	0,98 ₂
650	0,93 ₃	0,94 ₁	0,92 ₅	0,95 ₂	0,92 ₀	1,01 ₁
702	0,92 ₀	0,91 ₁₁	0,90 ₀	0,94 ₈	0,91 ₃	1,01 ₇

Таким образом, оказывается, что все исследованные вещества в меньшей мере отражают лучи длинных волн, чем коротких. Отсупления от белого цвета довольно значительны.

Точность полученных значений. Получаемая при спектрофотометрических измерениях точность, вообще говоря, не может быть очень большой, благодаря ошибкам наблюдений, которые всегда возможны при измерениях помощью глаза в случаях той, в общем, незначительной яркости поля, которая имеет здесь место. Точность измерений в обычно применяемом спектрофотометре König-Martens'a (изготавливаемом фирмой Шмит и Генш) невелика, так как поворот николя не может быть произведен достаточно плавно и на небольшие углы. Поэтому при настоящих измерениях было сделано добавочное приспособление к спектрофотометру, которое позволяло сообщать николю плавное и незначительное по величине вращение (на угол меньше $0,05^\circ$). Для уменьшения ошибок самого фотометрирования была получена наибольшая возможная яркость поля¹⁾.

Для повышения точности измерений были приняты также следующие меры. При сравнении яркости фотометрических полей устанавливалось не положение равновесия, но положение наименьшего контраста. Как показала практика фотометрической лаборатории Главной Палаты мер и весов, такой способ измерений (предложенный П. М. Тиходеевым) наиболее чувствителен и обеспечивает большую устойчивость наблюдений, устраняя ошибки, происходящие в силу известных свойств глаза.

Все измерения велись в четырех квадрантах. Примером одного из (устойчивых) измерений может служить следующая таблица 3.

Таблица 3.

Экран из CaSO_4				$\lambda = 510 \text{ м}\mu$			
I-й квадрант; градусы	II-й квадрант; градусы	III-й квадрант; градусы	IV-й квадрант; градусы	I-й квадрант; градусы	II-й квадрант; градусы	III-й квадрант; градусы	IV-й квадрант; градусы
44,8 — 44,0	136,3 — 135,0	224,7 — 223,8	316,1 — 315,1	44,9 — 44,0	136,1 — 135,1	225,0 — 224,0	315,9 — 315,2
44,8 — 43,9	136,0 — 135,0	224,9 — 223,9	316,0 — 315,1	44,9 — 44,0		224,7 — 224,0	
$\text{tg}^2 44^\circ 5_1' = 1,01_0$	$\text{tg}^2 43^\circ 5_2' = 1,07_1$	$\text{tg}^2 136^\circ 0_3' = 1,08_2$	$\text{tg}^2 135^\circ 0_4' = 1,00_3$	$\text{tg}^2 224^\circ 50' = 1,01_2$	$\text{tg}^2 223^\circ 55' = 1,07_2$	$\text{tg}^2 316^\circ 0_5' = 1,07_2$	$\text{tg}^2 315^\circ 0_6' = 1,00_3$
Средн. $\text{tg}^2 = 1,04_2$	Средн. $\text{tg}^2 = 1,04_2$	Средн. $\text{tg}^2 = 1,04_2$	Средн. $\text{tg}^2 = 1,04_2$				

Средн. $\text{tg}^2 = 1,04_2$

Средняя арифметическая ошибка одного наблюдения равна $0,1\%$; средняя квадратичная— $0,2\%$. Средняя квадратичная ошибка результата— $0,1\%$ и по отношению к конечному результату, т.е. приняв во внимание ошибку при сравнении ламп,— $0,2\%$.

¹⁾ В качестве источника света применялась, как уже указывалось, проекционная лампа в 1000 ватт. Освещенность исследуемой поверхности достигала 70000 люкс. Количество тепловой энергии, излучаемой лампой и падающей на белую поверхность, было около $0,3 \frac{\text{ватта}}{\text{см}^2}$. Это—столь значительное количество, что дальнейшее увеличение его влекло бы за собой слишком сильное нагревание экрана, недопустимое при работе.

Главным источником ошибок и неустойчивости измерений в данной работе могло быть то обстоятельство, что яркость поля спектрофотометра сильно меняется в зависимости от расположения глаза наблюдателя. Положение светового равенства смещается, если луч от глаза наблюдателя хотя бы незначительно отклоняется от оси прибора. На это было обращено внимание, и насколько возможно, глаз помещался в одно и то же положение так, чтобы луч зрения шел вдоль оси прибора.

Точность измерений оказывается различной в разных областях спектра и лежит в следующих пределах.

Таблица 4.

Спектральная область $m\mu$	Средняя арифметическая ошибка одного наблюдения		Средняя квадратичная ошибка одного наблюдения		Средняя квадратичная ошибка результата		Вероятная ошибка результата	
	Наименьшая % %	Наибольшая % %	Наименьшая % %	Наибольшая % %	Наименьшая % %	Наибольшая % %	Наименьшая % %	Наибольшая % %
702 — 650	0,1 ₆	1,3 ₁	0,2 ₁	1,6 ₄	0,2 ₆	1,0 ₄	0,1 ₃	1,1 ₆
650 — 462	0,1 ₁	0,6 ₈	0,2 ₇	0,8 ₆	0,2 ₂	0,8 ₆	0,1 ₂	0,5 ₄
462 — 437	1,3 ₂	2,2 ₁	1,0 ₂	3,1 ₁	1,6 ₂	3,1 ₁	1,0 ₃	2,0 ₄

Влияние свойств белых экранов на точность световых измерений. При световых измерениях на фотометрической скамье (или иных) экран фотометра освещается сравниваемыми источниками света и в зависимости от его коэффициента отражения то или иное количество лучей отражается и падает на призмы (или зеркала) фотометра, чтобы затем попасть в глаз наблюдателя или другой воспринимающий прибор. Если спектральный состав излучения сравниваемых ламп различен, величина зрительного впечатления может быть неодинаковой в случае отражения света от небелого экрана и в случае экрана, отражающего все видимые длины волн в одинаковой степени.

Чтобы выяснить влияние отступлений от белого цвета исследованных образцов на результаты измерений, следовало бы в каждом отдельном случае знать распределение энергии в спектре исследуемого источника. Ибо распределение это зависит не только от температуры, материала и состояния поверхности накаливаемого тела, но, например, и от спектральной прозрачности стекла колбы электрической лампы и т. п., и потому наперед предвидеть изменение энергии по спектру многих источников света, в частности электрических ламп, — нельзя. В данном случае в качестве примера взяты кривые распределения энергии в спектре угольной, двух пустотных и наполненной газом вольфрамовых ламп, полученные Coblenz¹⁾ и Ives²⁾. Эти примеры дают порядок величины влияния, т. е. позволяют выяснить, в каких случаях влияние небелого экрана становится настолько заметным, что может ощутимо понизить точность измерений. Отдельно производилось сравнение для двух случаев: а) пустотной вольфрамовой лампы с угольной — по данным Ives²⁾ и в) пустотной вольф-

¹⁾ Coblenz, Sc. Pap. Bur. of St. № 443; Bull. B. of St. Vol. 9, 1912.

²⁾ Ives, Bull. Bur. of St. Vol. 6, № 2, 1909.

рамовой с лампой наполненной газом — по данным Soblentz'a. Такое сравнение вызывалось тем, что влияние небелого экрана будет наибольшим в том случае, если производится сравнение двух источников света, обладающих различным составом излучения, как это и имеет место в рассмотренных случаях.

Вычисления при этом велись таким образом. Отдельные относительные значения величины энергии в спектре данной лампы, взятые в определенных точках спектра, умножались на соответствующие значения видимости¹⁾. Сумма таких произведений дает величину, пропорциональную зрительному впечатлению от данной лампы. Эта величина была принята за 100% всего зрительного ощущения. Впечатления от отдельных участков были взяты в долях всего ощущения в целом. Далее эти отдельные значения множились на соответствующие величины относительного коэффициента отражения, которые были взяты с экспериментальных кривых. Сумма новых произведений пропорциональна силе отраженного света. Она указывает на искажение спектра при отражении и характеризует величину зрительного впечатления, полученного после отражения от экрана (см. приложение). Получены в итоге такие результаты:

Таблица 5.

Ошибки при сличении электрических ламп с разным спектром на белых экранах

Экраны из веществ:	MgCO ₃	ZnO	CaSO ₄	BaSO ₄	MgO	Старый экран из CaSO ₄
Изменение силы света угольной лампы (2,6 $\frac{\text{люм.}}{\text{ватт}}$) по отношению к пустотной вольфрамовой (8,1 $\frac{\text{люм.}}{\text{ватт}}$); %	-0,2 ₄	-0,3 ₂	-0,2 ₄	-0,3 ₂	-0,3 ₂	-0,0 ₄
Изменение силы света пустотной вольфрамовой лампы (8,2 $\frac{\text{люм.}}{\text{ватт}}$) по отношению к наполненной газом (15,8 $\frac{\text{люм.}}{\text{ватт}}$); %	-0,5 ₁	-0,5 ₂	-0,6 ₂	-0,6 ₂	-0,6 ₂	-0,2 ₇

Приведенные результаты вычислений показывают, что при световых изменениях на фотометрической скамье в технических условиях все исследованные вещества не оказывают заметного влияния на точность результатов. В метрологических же условиях, в случае сравнения ламп, сильно различающихся по спектру, необходимо учитывать влияние применяемого экрана, так как в этом случае оно может выйти за пределы точности самых измерений.

При применении всех указанных веществ для покрытия поверхностей в интегрирующих фотометрах и изготовлении экранов для определения

¹⁾ Видимость отдельных участков спектра была взята по данным Конгресса Международной Осветительной Комиссии 1924 г.

коэффициента отражения — отступление от белого цвета может вносить, как это легко понять, значительно большие неточности.

В заключение автор считает своим долгом выразить благодарность П. М. Тиходееву за руководящие указания, данные им при выполнении настоящей работы.

Приложение.

Ниже приводятся данные вычислений¹⁾, относящиеся к выяснению влияния цветных свойств фотометрических экранов на точность световых измерений. Они приводятся лишь для случая сличения пустотной и наполненной газом лампы. Прочие данные опущены.

1. Пустотная вольфрамовая лампа²⁾ со световой отдачей $8,2 \frac{\text{люм.}}{\text{ватт.}}$

Длина волны: μ	Относительное значение энергии	Коэффициент видимости	Произведение относит. энерг. на коэфф. видности	То же, отнесенное к силе света, принятой за 100%	Изменение спектра при отражении от экранов:					
					MgCO ₃	Старый экран из CaSO ₄	ZnO	CaSO ₄	BaSO ₄	MgO
430	5,2	0,012	0,062	0,013	0,013	0,013	0,014	0,015	0,014	0,014
440	6,2	0,023	0,143	0,029	0,029	0,030	0,031	0,033	0,030	0,032
450	7,7	0,038	0,293	0,050	0,050	0,051	0,052	0,055	0,052	0,054
460	9,3	0,060	0,558	0,113	0,116	0,117	0,119	0,124	0,118	0,122
470	11,4	0,091	1,038	0,211	0,218	0,219	0,221	0,230	0,220	0,228
480	13,8	0,132	1,919	0,390	0,404	0,404	0,407	0,422	0,406	0,418
490	16,4	0,208	3,410	0,692	0,716	0,714	0,718	0,743	0,719	0,738
500	19,2	0,323	6,205	1,258	1,300	1,294	1,300	1,338	1,306	1,332
510	22,0	0,503	11,070	2,246	2,310	2,302	2,309	2,373	2,328	2,362
520	25,2	0,710	17,90	3,632	3,711	3,711	3,719	3,809	3,750	3,789
530	29,0	0,862	25,01	5,075	5,150	5,165	5,155	5,272	5,205	5,196
540	33,0	0,954	31,50	6,394	6,453	6,478	6,462	6,582	6,520	6,550
550	37,2	0,995	37,00	7,505	7,520	7,563	7,531	7,653	7,580	7,605
560	41,7	0,995	41,50	8,415	8,385	8,430	8,390	8,500	8,425	8,520
570	47,1	0,952	44,82	9,030	8,960	9,060	8,960	9,100	9,015	9,035
580	53,2	0,870	46,86	9,370	9,190	9,290	9,160	9,290	9,210	9,240
590	60,0	0,757	45,40	9,210	8,970	9,100	8,920	9,055	8,970	9,020
600	67,3	0,631	42,44	8,610	8,310	8,500	8,280	8,390	8,315	8,390
610	74,8	0,508	37,50	7,610	7,295	7,540	7,265	7,370	7,275	7,390
620	82,0	0,381	31,24	6,339	6,030	6,265	6,080	6,194	5,995	6,070
630	90,0	0,265	23,85	4,837	4,580	4,802	4,551	4,641	4,531	4,604
640	98,2	0,175	17,10	3,488	3,289	3,478	3,260	3,333	3,248	3,300
650	107,0	0,107	11,45	2,324	2,185	2,329	2,160	2,216	2,150	2,188
660	116,4	0,061	7,10	1,441	1,350	1,450	1,335	1,370	1,328	1,348
670	126,1	0,032	4,04	0,819	0,764	0,828	0,757	0,778	0,751	0,762
680	136,5	0,017	2,30	0,467	0,435	0,472	0,431	0,443	0,427	0,432
690	144,8	0,008	1,16	0,235	0,218	0,238	0,216	0,223	0,214	0,217
700	154,0	0,004	0,62	0,126	0,117	0,128	0,116	0,119	0,114	0,116
Σ			493,078	100,00	98,108	99,951	97,881	98,591	98,226	98,902

¹⁾ Вычисления произведены с точностью около $5 \cdot 10^{-4}$, что достаточно в данном случае.

²⁾ Применительно к данным Coblenz'a (Bull. Bur. of Stand., том 9, 1912, стр. 109).

II. Наполненная газом вольфрамовая лампа¹⁾ со световой отдачей15,75 $\frac{\text{люменов.}}{\text{ватт.}}$

Длина волны, μm	Относительное значение энергии	Коэффициент видности	Произведение относит. энерг. на коэфф. видности	То же, отнесенное к силе света, принятое за 100%	Изменение спектра при отражении от экранов:					
					MgCO ₃	Ст. экр.	ZnO	CaSO ₄	BaSO ₄	MgO
430	0,21	0,012	0,0025	0,028	0,028	0,029	0,030	0,032	0,029	0,031
440	0,245	0,023	0,0056	0,063	0,063	0,065	0,067	0,070	0,066	0,069
450	0,27	0,038	0,0103	0,116	0,118	0,120	0,123	0,129	0,124	0,127
460	0,31	0,060	0,0186	0,210	0,216	0,218	0,221	0,231	0,219	0,228
470	0,35	0,091	0,0319	0,361	0,373	0,374	0,378	0,394	0,376	0,389
480	0,40	0,139	0,0556	0,628	0,650	0,650	0,655	0,680	0,654	0,674
490	0,44	0,208	0,0915	1,035	1,071	1,068	1,074	1,111	1,075	1,104
500	0,49	0,323	0,1583	1,788	1,848	1,838	1,846	1,901	1,855	1,895
510	0,54	0,503	0,2716	2,945	3,028	3,020	3,028	3,113	3,052	3,100
520	0,595	0,710	0,4226	4,785	4,890	4,890	4,895	5,015	4,938	4,990
530	0,65	0,882	0,5800	6,340	6,436	6,455	6,450	6,585	6,505	6,555
540	0,70	0,954	0,6680	7,555	7,620	7,653	7,640	7,770	7,693	7,735
550	0,76	0,995	0,7560	8,550	8,570	8,620	8,580	8,720	8,662	8,660
560	0,82	0,995	0,8160	9,225	9,195	9,240	9,173	9,320	9,238	9,345
570	0,88	0,952	0,8380	9,580	9,475	9,550	9,440	9,590	9,500	9,520
580	0,945	0,870	0,8220	9,295	9,120	9,220	9,060	9,220	9,140	9,160
590	1,000	0,757	0,7570	8,585	8,340	8,460	8,300	8,420	8,340	8,380
600	1,055	0,631	0,6660	7,535	7,275	7,435	7,245	7,345	7,275	7,320
610	1,12	0,503	0,5640	6,380	6,120	6,330	6,090	6,180	6,100	6,150
620	1,18	0,381	0,4490	5,085	4,840	5,030	4,820	4,898	4,820	4,870
630	1,24	0,265	0,3290	3,720	3,522	3,695	3,500	3,570	3,486	3,540
640	1,30	0,175	0,2270	2,560	2,414	2,551	2,304	2,448	2,384	2,421
650	1,355	0,107	0,1450	1,640	1,542	1,643	1,525	1,563	1,517	1,544
660	1,41	0,061	0,0800	0,972	0,910	0,978	0,900	0,924	0,896	0,909
670	1,47	0,032	0,0471	0,532	0,496	0,537	0,492	0,506	0,488	0,495
680	1,53	0,017	0,0260	0,293	0,273	0,296	0,270	0,278	0,268	0,271
690	1,59	0,008	0,0127	0,143	0,133	0,145	0,132	0,135	0,130	0,132
700	1,655	0,004	0,0062	0,070	0,065	0,071	0,064	0,066	0,063	0,064
Σ			8,8436	100,00	98,631	100,181	98,412	100,214	98,890	99,078

¹⁾ По данным Coblenz'a (см. Scient. Pap. Bur. of. Stand. № 443, 1922, стр. 225).

ТЕОРИЯ ДИСКОВЫХ ВОДОМЕРОВ

А. А. Сурип.

Дисковые водомеры имеют своей родиной Америку; в Европе они появились около 25—30 лет назад и быстро распространились в Германии, Австрии и отчасти в России, ибо, действуя, как и поршневые водомеры — по принципу объема, они в то же время удобнее последних, вследствие меньшего веса, отсутствия шума при работе и меньшей стоимости при одном и том же калибре водомера. Возникшее вначале увлечение этими водомерами затем, в силу обнаружившихся при их эксплуатации затруднений, несколько ослабло; в последнее время за границей вновь усилилось движение в пользу дисковых водомеров и, в связи с внесением в их конструкцию ряда улучшений, ими переоборудованы, по данным фирмы Сименс и Гальске в Берлине, водопроводы городов Лейпцига и Дрездена, чем и вызвано появление настоящей статьи, трактующей в элементарной форме теорию действия этих водомеров — вопрос мало разработанный вообще и совершенно отсутствующий в русской литературе.

Представление о принципе действия различных систем водомеров далеко неодинаково ясно: каждому понятно, что в скоростном (турбинном) водомере вода, направляемая соплами, ударяет в лопажки крыльчатки, вследствие чего они движутся и приводят во вращательное движение вертикальную ось крыльчатки и соединенные с нею передаточный и счетный механизмы, и, хотя прохождение воды через водомер в деталях представляет собою весьма сложное явление, тем не менее принцип действия такого водомера весьма понятен; в поршневом водомере попеременно заполняется объем его цилиндра то с одной, то с другой стороны поршня, при чем вода, заполнявшая при каком-либо ходе поршня означенный цилиндр, при последующем его ходе выталкивается в напорную сеть, так что количество подаваемой воды равно числу опорожнений цилиндра, умноженному на его полезный объем; иными словами, поршневой водомер представляет движущую часть водостолбовой машины. Обычное распространное представление о работе дискового водомера полагает, что вода попеременно заполняет пространства над диском и под диском, вследствие чего последний катится по нижнему или верхнему конусу камеры и вытесняет соответственные объемы воды в напорную линию; между тем это далеко не так, ибо исключительное наполнение одного какого-либо пространства — над диском или под диском — соответствует лишь двум определенным положениям диска, при которых линия касания плоскости диска с конусами камеры совпадает с направлением радиальной перегородки последней (рис. 1), отделяющей вход воды от ее выхода; вообще же во время работы водомера входное и выходное отверстия водомера m и n (рис. 3) соединены с обоими пространствами — и над и под диском, почему диск в период работы испытывает двухстороннее давление воды; кроме того, диск не просто катится по коническим поверхностям камеры, а с некоторым скольжением, ибо наружная окружность диска и окружность осно-

ваний конусов камеры неодинаковы по длине. Вот эти-то особенности дискового водомера, как затемняющие представление об его работе, и требуют особого рассмотрения.

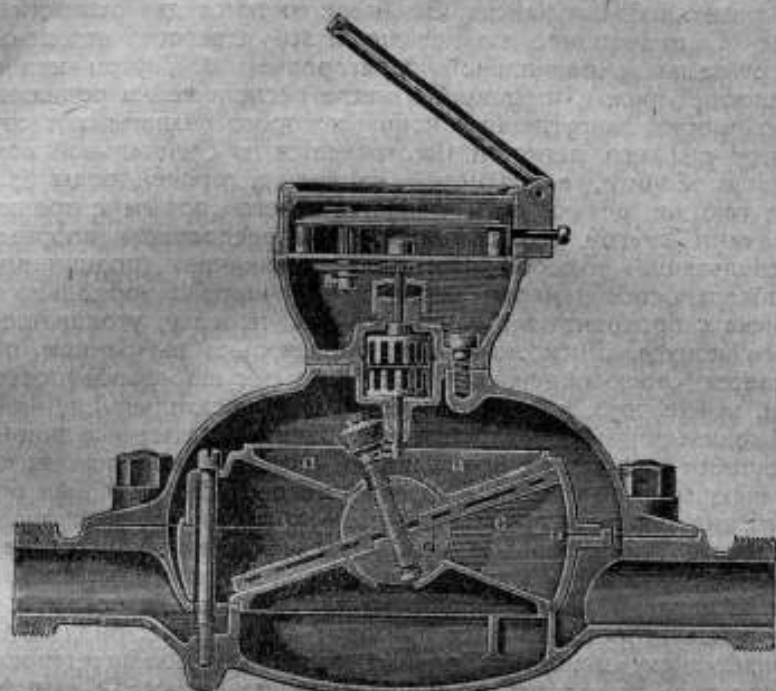


Рис. 1.

Взгляды на дисковые водомеры в Европе и Америке существенно различны: в Европе от них требуют крайне высокой чувствительности, Америка же предъявляет к ним весьма льготные требования; это обстоятельство объясняется тем, что в Европе эти водомеры служили до последнего времени обычно для специальных установок (фабрики, заводы, лаборатории и т. п.), в Америке же они несли ординарную службу.

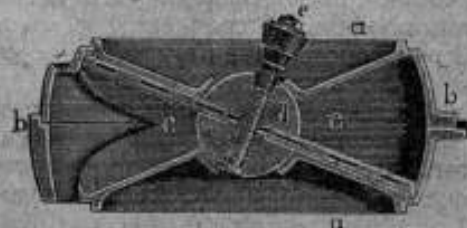


Рис. 2.

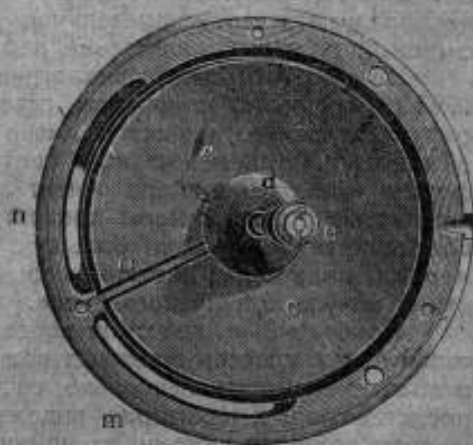


Рис. 3.

Прототипом дисковых водомеров является водомер системы *Thomson's*, изображенный на рис. 1, 2 и 3. Он состоит из бронзового корпуса с входным и выходным патрубками; внутри корпуса расположена камера для диска, состоящая из двух половин, соединяемых между собою фланцами; верхняя и нижняя стенки камеры образованы боковыми поверхностями

стями двух вертикальных конусов, обращенных друг к другу вершинами, соприкасающимися с центрами плоских поверхностей диска — верхней и нижней; боковые стенки камеры образованы поверхностью шара, диаметр которого равен диаметру диска. В камере имеются два отверстия: входное для воды m , и выходное для нее же n ; эти отверстия отделены друг от друга вертикальной радиальной перегородкой o . Внутри камеры помещается плоский диск c , имеющий в месте расположения радиальной перегородки o прорез, закругленные концы которого обхватывают эту перегородку; диск для его легкости изготавливается из специальной композиции, каучука или эбонита, а для целей измерения горячей воды бронируется медью; с той же целью диск делается иногда полым с крепительными перегородками внутри его. В центре диска расположен опорный шар d , плотно скользящий в особо изогнутых изложницах (подшипнике) конических поверхностей камеры; через центр шара d нормально к поверхности диска c проходит ось e , снабженная наверху утолщением в виде усеченного конуса. Диск во всяком, произвольно выбранном, положении соприкасается своею окружностью с боковыми шаровыми поверхностями камеры и, кроме того, имеет по одной общей касательной линии с верхней и нижней коническими поверхностями камеры; эти касательные линии являются производящими конических поверхностей камеры, параллельны друг другу и лежат в одной вертикальной плоскости; если бы диск был бесконечно тонким, то они образовали бы одну прямую линию, разделяемую центром диска пополам. Таким образом диск разделяет объем камеры на две равные части, вследствие чего часть диска находится под давлением входящей и часть под давлением выходящей из водомера воды; но так как первое давление выше второго, то диск приходит в движение; радиальная стенка не позволяет диску вращаться, почему последнему сообщается колебательное движение, и он катится по коническим поверхностям камеры с некоторым обратным скольжением. При качении диска ось e описывает коническую поверхность; при своем движении она задевает за горизонтальный палец вертикальной оси, входящей сверху в корпус водомера, и увлекает его в своем движении; таким образом колебательные движения диска преобразуются во вращательное движение вертикальной оси, которое системой зубчатых зацеплений передается ленточному счетчику водомера.

На рис. 4 приведен аналогичный водомер системы Hersey модели 1922 г.; как видно из фигуры, главное его отличие от предыдущего типа состоит в замене плоского диска полым конусом без дна, называемым обычно коническим диском; в соответствии с приданием диску конической формы камера водомера имеет лишь одну верхнюю коническую стенку, нижняя же стенка камеры представляет собою плоскость; коничность диска обеспечивает водомерам большую чувствительность по сравнению с водомерами, имеющими плоский диск, диаметр которого равен диаметру основания конуса конического диска.

Приведенные два типа водомера являются характерными представителями двух классов дисковых водомеров: с плоским и коническим дисками; в практике имеется несколько систем того и другого класса водомеров, представляющих некоторое видоизменение вышеописанных, но действующих по тому же самому принципу.

Как видно из описания, правильность действия дисковых водомеров основана на точности геометрического построения и плотной пригонке диска и камеры, а потому эти водомеры весьма чувствительны к мутным и в некоторых случаях жестким и железистым водам, ибо выделяющиеся из последних осадки могут нарушить движение диска и, попадая в зазоры, вызвать его поломку, в особенности в водомерах больших калибров; на этом основании дисковые водомеры применяются преимущественно для

измерения при чистых водах и снабжаются более мелкими, нежели скоростные водомеры, сетками, помещенными во входном патрубке корпуса.

Движущаяся в приводной трубе вода, входя внутрь водомера через отверстие *л*, действует на его диск своей скоростью и своим давлением; влияние скорости сказывается преимущественно при проходе через водомер значительных количеств воды; при малых же расходах скоростной напор обычно не в состоянии привести диск в движение.

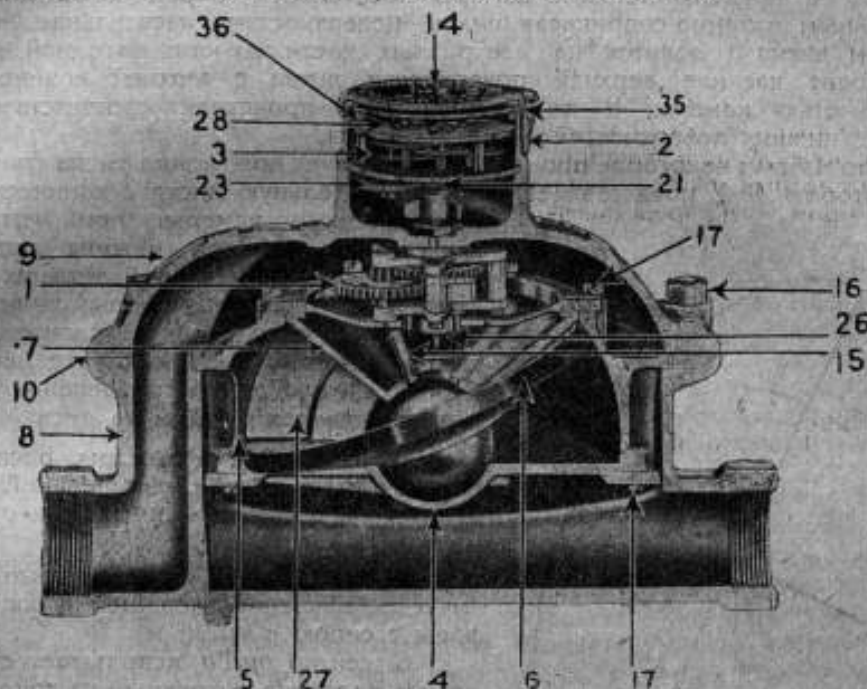


Рис. 4.

Если струя воды, обладающая скоростью v м/сек с расходом Q килолитров в секунду, ударяет в наклоненную к ней под углом θ плоскость, движущуюся в направлении струи со скоростью c м/сек, то динамическое давление воды p в килограммах, при условии, что вода после удара имеет выход в одну сторону, т.е. в сторону движения диска, выразится формулой:

$$p = \frac{\Delta}{g} Q (v - c) (1 - \cos \theta), \quad (1)$$

где Δ — вес одного миллилитра воды, равный 1000 килограммов, и $g = 9,81$ м/сек.

Так как при работе водомера диск его имеет самостоятельное движение, то $(v - c)$ представляет относительную скорость движения воды (по отношению к диску); в большинстве случаев, как сказано выше, сила p бывает недостаточна, чтобы преодолеть вредные сопротивления, возникающие при движении диска.

Чтобы упростить рассуждения, предположим, что диск представляет собою плоскую круглую бесконечно тонкую пластинку, вращающуюся около своего центра o так, что его плоскость с горизонтом составляет всегда постоянный угол θ ; при этих условиях верхняя и нижняя плоскости диска при его движении опишут различными своими радиусами наружные обертывающие поверхности, которые представляются в виде двух одинаковых вертикальных конусов, взаимно соприкасающихся вершинами в центре

диска o ; длина производящей у обоих конусов будет равна радиусу диска r , а угол при вершине конуса равен $180^\circ - 2\theta$, почему радиус оснований у обоих конусов выразится через $r_1 = r \cos \theta$. Поверхности этих конусов представляют теоретическое очертание верхней и нижней стенок камеры, в которой вращается диск; таким образом, в любой произвольно взятый момент времени диск при своем движении имеет общую с коническими (верхней и нижней) стенками камеры касательную, перемещающуюся по означенным взаимно-соприкасающимся поверхностям; касательная линия центром диска o делится на две равных части, из коих по одной части происходит касание верхней поверхности диска с верхней конической поверхностью камеры, а по другой части происходит соответственное касание нижних поверхностей диска и камеры.

Рассмотрим некоторое произвольное рабочее положение диска (рис. 5), при котором AoA' представляет общую касательную диска с коническими

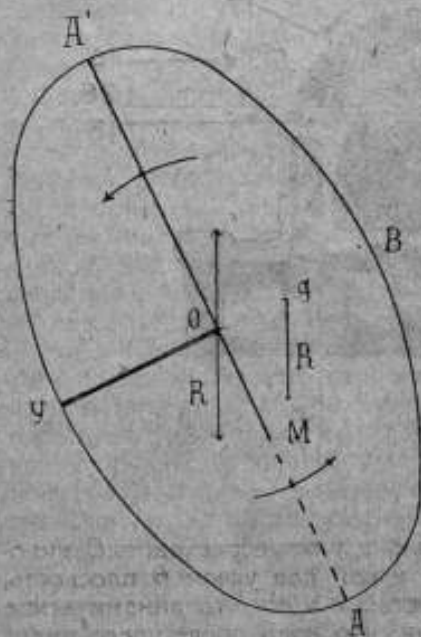


Рис. 5.

поверхностями камеры, при чем Ao является касательной нижних поверхностей, $A'o$ — касательной верхних поверхностей диска и камеры; линия ou обозначает положение разделительной стенки камеры. В этом случае наблюдается следующее распределение статических давлений воды на диск:

1. Часть объема камеры, расположенного над диском, касательной $A'o$ делится на две части — $ouABA'o$ и $ouA'o$, из коих:

а) сектор $ouABA'o$ испытывает статическое давление входящей в водомер воды с силою $\mu \text{ кг/см}^2$ и

б) сектор $ouA'o$ испытывает статическое давление выходящей из водомера воды с силою $\eta \text{ кг/см}^2$.

2. Часть объема камеры, расположенного под диском, касательной Ao делится на две части — $ouA'BAo$ и $ouAo$, из коих:

а) сектор $ouA'BAo$ испытывает статическое давление выходящей из водомера воды с силою $\eta \text{ кг/см}^2$ и

б) сектор $ouAo$ испытывает статическое давление входящей в водомер воды с силою $\mu \text{ кг/см}^2$.

Принимая во внимание, что статические

а) давления на сектор $ouAo$ диска сверху и снизу одинаковы и равны порознь $\mu \text{ кг/см}^2$ и

б) давления на сектор $ouA'o$ диска сверху и снизу одинаковы и равны порознь $\eta \text{ кг/см}^2$ и, игнорируя, в виду ничтожности абсолютной величины, значение скоростных давлений на сектор $ouAo$, можно прийти к заключению, что эти два сектора находятся в равновесии, и, следовательно, к рассмотрению останется лишь полудиск $oABA'o$, на который сверху давит входящая в водомер, а снизу выходящая из водомера вода; оба статические давления на диск по законам гидравлики направлены нормально к его поверхности, т. е. взаимно противоположно, и приложены в центре тяжести полудиска g . Давление входящей воды $\mu \text{ кг/см}^2$ больше давления выходящей

воды η кг/см², а потому на полудиск $oABA'o$ в точке g будет действовать равнодействующая сила:

$$R = \frac{\pi r^2}{2} (\mu - \eta) \text{ килограммов, } \dots \dots \dots (2)$$

направленная сверху вниз нормально к плоскости диска и приложенная в центре тяжести полудиска $oABA'o$ в точке g . Приложим в центре диска o две равных и взаимно противоположных силы, направленных нормально к плоскости диска и равных по величине силе R ; тогда статическое равновесие диска не изменится, но действие на него воды может быть представлено в виде:

- а) давления R , приложенного в центре диска и передающегося на шаровой подпятник, и
- б) вращающего момента:

$$M = R \times og = \frac{\pi r^2}{2} (\mu - \eta) \times \frac{4r}{3\pi} = \frac{2}{3} (\mu - \eta) r^3. \dots \dots \dots (3)$$

Под влиянием этого момента M диск будет стремиться наклониться в плоскости момента вниз, т.е. покатится касательной Ao по нижней конической поверхности, при чем точка g будет постепенно перемещаться в плоскости диска по кругу в направлении, указанном на фиг. 5 стрелками, что вызовет в свою очередь дальнейшее качение диска в том же направлении; при этом нормальная к плоскости диска ось его, проходящая через его центр o , будет описывать коническую поверхность с углом при вершине конуса, равным 2θ .

В некоторый промежуточный момент движения диска радиус oA' будет являться общей касательной диска уже не с верхней конической поверхностью камеры, а с нижней ее поверхностью, и, соответственно, радиус oA' — касательной с верхней конической поверхностью камеры; аналогичными предыдущим рассуждениям нетрудно убедиться, что получающаяся в последнем случае пара сил с тем же моментом M будет приподнимать диск в плоскости момента, т.е. продолжать ранее начатое движение, ибо входящей водой в этом случае будет заполнена большая часть пространства под диском, а ранее вошедшая над диском вода будет вытесняться в выходное отверстие μ ; давление R в центре диска o будет направлено вверх, но оно значительно уменьшится весом самого диска (рис. 6).

Особым положением диска является такое, при котором касательная диска и конических поверхностей камеры совпадает с направлением радиальной перегородки ее. Предположим, что на рис. 7, линия Ao является касательной диска с нижней конической поверхностью камеры, а $A'o$ — соответственно аналогичной касательной с верхней поверхностью ее; в таком случае сверху на полудиск ABA' давит входящая вода, а на полудиск ABA' — выходящая из водомера вода; снизу же давления на оба означенные полудиска одинаковы, вследствие чего результирующее давление в точке g будет направлено сверху вниз и по величине выразится формулой (2), а вращающий момент M , определяемый формулой (3), будет прижимать диск к низу в плоскости, проходящей через точки o и g и нормальной к плоскости диска, вследствие чего последний покатится касательной Ao по нижней конической поверхности в направлении, указанном на рис. 7 стрелками.

В формуле (3) M представляет собою движущий момент при учете одних статических давлений, но в нем можно приблизительно учесть и динамическое действие воды, если вместо μ взять

$$\psi = \mu + \rho,$$

где p означает скоростное давление воды на единицу площади диска (Γ кв. см); тогда:

$$M = \frac{2}{3} (\psi - \eta) r^3 \dots \dots \dots (4)$$

В отношении формулы (4) необходимо заметить, что величина p имеет переменное значение, ибо плоскость диска при движении составляет переменный угол с направлением входящей воды и, кроме того, динамическое давление воды на часть диска $ouAo$ (рис. 5) сверху и снизу не одинаково и, следовательно, взаимно не уравнивается, а потому в рассмотрение можно принимать лишь некоторое среднее значение p за одно полное колебание диска.

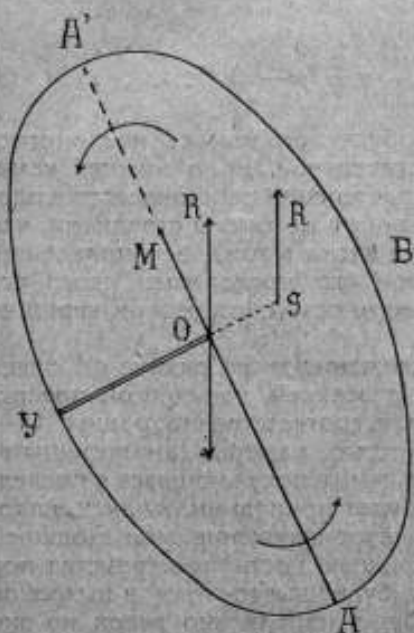


Рис. 6.

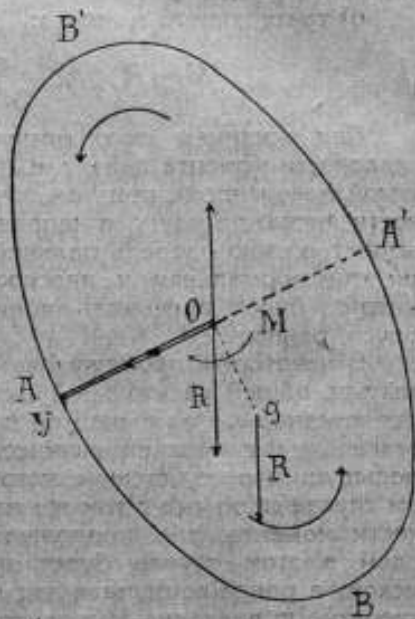


Рис. 7.

Из формул (3) и (4) следует, что чем больше радиус r , тем больше движущий момент M , т. е. тем выше чувствительность дискового водомера; с этой точки зрения выгодно увеличивать диаметр диска, но последнее положение требует некоторого корректива, ибо при увеличении диаметра диска увеличивается его вес, а, следовательно, и давление на нижнюю часть шарового подшипника; отсюда, в свою очередь, следует заключение, что диск должен готовиться из легких материалов и что водомеры для котельной воды, имеющие металлические или бронированные металлом диски, не могут обладать той же высокой чувствительностью, что и обыкновенные, с легкими дисками, водомеры.

Значения величины $(\psi - \eta)$ определяется из понятия о характерном расходе водомера; характерным расходом принято называть равномерно пропускаемое водомером в течение часа количество воды, когда потеря напора в нем равна 10 м водяного столба¹⁾.

¹⁾ Характерный расход — понятие условное, и не совпадает с нормальным расходом, при котором водомер длительно работает (см. „Поверочное дело“, № 1 (5), 1926 г., стр. 72—75).

Величина характерного расхода водомеров различного калибра следующая:

Калибр водомера в мм	Характерный расход в килолитрах
15	3
20	5
25	7
40	20
50	30
80	50
100	100

а значение разности $(\psi - \tau)$ примерно следующее:

Расход через водомер в частях от характерного расхода	$(\psi - \tau)$ кг/см ²
1	1
0,25	0,5625
0,5	0,25
0,4	0,16
0,3	0,09
0,2	0,04
0,1	0,01
0,05	0,0025
0,02	0,0004

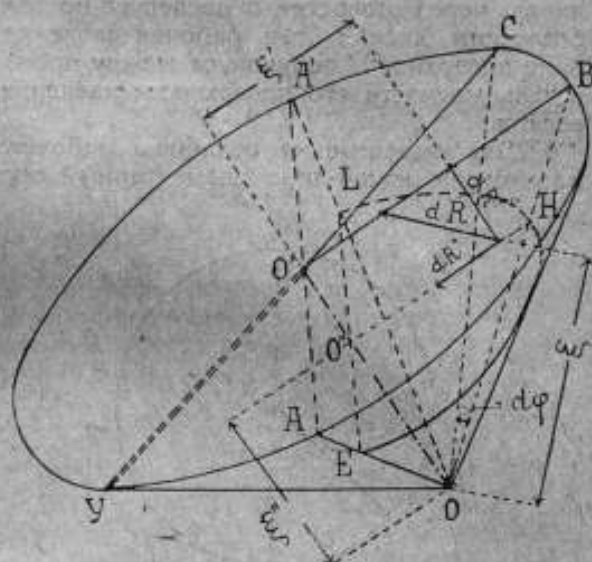


Рис. 8.

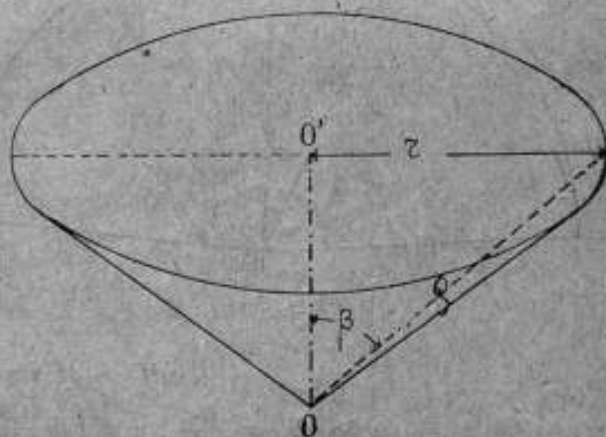


Рис. 9.

Нетрудно видеть, что дисковой водомер за одно круговое колебание, определяемое тем, что касательная AO или $A'O$ описывает на поверхности диска угол в 360° , подает количество воды, равное объему камеры (за вычетом объема самого диска и опорного шара в пределах камеры); действительно, в каждый данный момент количество воды с каждой стороны диска, замкнутое общей касательной диска и камеры, равно половине емкости камеры; в течение одного полного кругового колебания диска производящие AO и $A'O$ описывают углы в 360° и вытесняют воду из обеих половин камеры в выходное ее отверстие.

Для рассмотрения принципа действия водомеров с коническим диском (рис. 8) примем по предыдущему стенки его бесконечно тонкими и то же расположение касательных AO и $A'O$ по отношению к входящей воде; угол при вершине конуса в осевом сечении обозначим через 2β (рис. 9); если обозначить через ρ — длину производящей конуса, то радиус круга его основания r будет равен:

$$r = \rho \sin \beta \dots \dots \dots (5)$$

Как и в водомере с плоским диском объем камеры последнего водомера, сверху и снизу диска, будет подразделяться общими касательными AO

и $A'O$ и радиальной стенкой на соответственные части, при чем заполнение их водой через отверстие m и последующее ее выдавливание в напорную линию через отверстие n последует по тому же закону, что и в водомере с плоским диском, т.е. рабочее давление R будет соответствовать половине поверхности полуконуса между производящими AO и $A'O$, так как на остальные части его поверхности давления сверху и снизу взаимно уравновесятся.

Для определения величины рабочего давления на конический диск рассмотрим какой-либо элементарный сектор его поверхности $OBCO$ площадью dF с углом при вершине (центре O), равным $d\varphi$, где φ обозначает центральный угол на развернутой конической поверхности диска (фиг. 8 и 10).

Тогда давление входящей воды на этот сектор dR определится по формуле:

$$dR = \mu dF \dots (6)$$

Так как элементарный сектор dF может быть принят за плоскую фигуру, то приведенное давление dR направлено нормально к его поверхности и приложено на расстоянии ξ от вершины конуса, равном:

$$\xi = \frac{4}{3} \cdot \frac{r}{\varphi} \dots (7)$$

Площадь элементарного сектора dF проектируется на основание конуса с радиусом $r = \rho \sin \beta$ в виде плоского сектора $O'BCO'$ площадью dF' при чем эта проекция будет равна:

$$dF' = dF \sin \beta, \dots (8)$$

$$\text{ибо } dF = \frac{CB \cdot \rho}{2}, \text{ а } dF' = \frac{CB \cdot r}{2} = \frac{CB \cdot \rho \sin \beta}{2}$$

Элементарное давление dR может быть разложено на две составляющих:

- 1) нормальную к плоскости круга основания конуса:

$$dR' = dR \sin \beta = \mu \sin \beta dF, \dots (9)$$

и

- 2) параллельную плоскости круга основания конуса:

$$dR'' = dR \cos \beta = \mu \cos \beta dF.$$

Так как действующее при положении диска по фиг. 8 давление входящей воды будет распространяться, не уравновешиваясь с обратным давлением, на внутреннюю поверхность полуконуса $OABA'O$, которая равна:

$$F = \frac{\pi \rho^2}{2} = \frac{\pi \rho^2 \sin \beta}{2} \dots (10)$$

то соответствующая этой поверхности составляющая R' давления воды будет:

$$R' = (\mu \sin \beta) \int_0^R dF = \mu \frac{\pi r^2 \sin^2 \beta}{2}; \dots \dots \dots (11)$$

учитывая же давление выходящей воды на обратную сторону полуконуса диска, получим результирующее давление:

$$R_1 = (\mu - \eta) \frac{\pi r^2 \sin^2 \beta}{2} \dots \dots \dots (12)$$

Значение другой составляющей силы давления воды R_2 определяется более сложно и приведено ниже.

В виду того, что каждому элементарному сектору конической поверхности диска $OBCO$ соответствует на круге основания конуса проекционный сектор $O'BCO'$, то сила R , направленная нормально к плоскости основания конуса, будет приложена на расстоянии от центра O' , равном:

$$\xi' = \frac{4}{3} \cdot \frac{r}{\pi} = \frac{4}{3} \cdot \frac{r \sin \beta}{\pi}, \dots \dots \dots (13)$$

почему вращающий момент от влияния силы R' будет по предыдущему равен:

$$M_1 = R' \cdot \xi' = \frac{2}{3} \cdot \mu r^3 \sin^3 \beta; \dots \dots \dots (14)$$

принимая же во внимание наличие давления выходящей воды с силой η кг/см² на противоположную (обратную) поверхность полуконуса, будем иметь движущий момент от составляющих, нормальных к плоскости кругаоснования диска:

$$M_1 = \frac{2}{3} (\mu - \eta) r^3 \sin^3 \beta \dots \dots \dots (15)$$

Нетрудно видеть, что при $\beta = 90^\circ$, т.е. при плоском диске, формула (15) превращается в формулу (3).

Равнодействующая горизонтальных составляющих dR'' будет расположена в плоскости круга EHL , отстоящей от центра O на расстоянии:

$$\xi'' = \frac{4}{3} \cdot \frac{r \cos \beta}{\pi} \dots \dots \dots (16)$$

Величина силы R'' определится следующим образом: построим в плоскости полукруга EHL (рис. 11) в какой-либо точке окружности N , радиус к которой составляет угол α с линией EL , давление dR'' и разложим его на две составляющих: одну нормальную к EL , т.е. $(N-1)$, и другую — параллельную EL , т.е. $(N-2)$; но давление $N-2$ уничтожится равным и противоположным давлением $N-2$ в точке N' , расположенной симметрично по отношению к точке N , а потому остается просуммировать лишь давления $N-1$ на протяжении полукруглости EHL ;

Давление $N-1$, соответствующее элементарному сектору dF , будет:

$$N-1 = dR'' \cdot \sin \alpha = \mu \cdot \cos \beta \cdot \sin \alpha \cdot dF, \dots \dots \dots (17)$$

а на весь полукруг составит:

$$R'' = \int_0^{\pi} \mu \cdot \cos \beta \cdot \sin \alpha \cdot dF \dots \dots \dots (18)$$

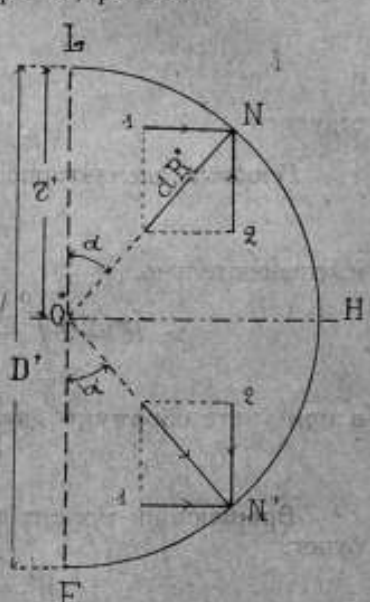


Рис. 11.

Так как под интегралом формулы (18) значится две переменных величины α и F , то выразим dF в функции α . Обозначив полный угол развернутой поверхности конуса (рис. 10) через φ' , будем иметь, что

$$2\pi r = 2\pi \rho \sin \beta = \frac{2\pi r \varphi'}{360},$$

откуда: $\varphi' = 360 \sin \beta = 2\pi \sin \beta \dots \dots \dots (19)$

Так как каждый элемент конической поверхности диска наклонен к плоскости его основания под углом $90 - \beta$, то, согласно формулы (19), произвольному центральному углу α на плоскости круга основания конуса или на параллельных ему плоскостях на развертке боковой поверхности конуса будет соответствовать некоторый определенный угол φ с одинаковой абсолютной длиной дуги окружности; соотношение между этими углами определится на основании формулы (19); действительно, для какой-либо дуги длиной l :

$$\alpha = \frac{360 \cdot l}{2\pi r} = \frac{360 \cdot l}{2\pi \rho \sin \beta}$$

и $\varphi = \frac{360 \cdot l}{2\pi r}$,

откуда: $\varphi = \alpha \sin \beta \dots \dots \dots (20)$

Площадь элементарного сектора dF поэтому будет равна:

$$dF = \frac{\rho^2}{2} d\varphi = \frac{\rho^2}{2} \sin \beta d\alpha, \dots \dots \dots (21)$$

и, следовательно,

$$R^r = 2 \int_{\frac{\pi}{2}}^0 \frac{\mu \sin \beta \cos \beta}{2} \rho^3 \sin \alpha d\alpha = \mu \rho^3 \sin \beta \cos \beta, \dots \dots \dots (22)$$

а при учете обратного давления выходящей воды в результате:

$$R_2 = (\mu - \eta) \rho^3 \sin \beta \cos \beta \dots \dots \dots (23)$$

Вращающий момент от влияния силы R^r на основании формулы (16) будет:

$$M'_2 = R^r \cdot \xi^r = \frac{4}{3} \frac{\mu}{\pi} \rho^3 \sin \beta \cos^2 \beta, \dots \dots \dots (24)$$

почему, принимая во внимание давление выходящей воды на обратную поверхность полуконуса, будем иметь дополнительный движущий момент от влияния горизонтальных сил:

$$M_2 = \frac{4}{3} \cdot \frac{(\mu - \eta)}{\pi} \rho^3 \sin \beta \cos^2 \beta \dots \dots \dots (25)$$

Общий движущий момент в водомере с коническим диском на основании формул (15) и (25) будет:

$$\begin{aligned} M = M_1 + M_2 &= \frac{2}{3} (\mu^* - \eta) \rho^3 \sin^3 \beta + \frac{4}{3} \frac{\mu - \eta}{\pi} \rho^3 \sin \beta \cos^2 \beta = \\ &= \frac{2}{3} (\mu - \eta) \rho^3 \sin \beta \left(\sin^2 \beta + \frac{2}{\pi} \cos^2 \beta \right) \dots \dots \dots (26) \end{aligned}$$

Аналогично формуле (4), учитывая динамическое действие входящей воды, можно написать:

$$M = \frac{2}{3} (\psi - \eta) \rho^3 \sin \beta \left(s \sin^2 \beta + \frac{2}{\pi} \cos^2 \beta \right) \dots \dots \dots (27)$$

Формулу (27) можно выразить через радиус круга основания конического диска r , в этом случае будем иметь:

$$M = \frac{2}{3} (\psi - \eta) r^3 + \frac{4}{3} \frac{\psi - \eta}{\pi} r^3 \operatorname{ctg}^2 \beta = \frac{2}{3} (\psi - \eta) r^3 \left(1 + \frac{2}{\pi} \operatorname{ctg}^2 \beta \right) \quad (28)$$

Сравнивая формулу (28) с формулой (4), нетрудно видеть, что первое слагаемое формулы (28) равно общему движущему моменту в водомере с плоским диском, диаметр которого равен $2r$, т.е. диаметру основания конического диска; но так как в водомере с коническим диском имеется еще дополнительный движущий момент M_2 , составляющий по своей величине около 15%—20% от M_1 , то последние водомеры, при одинаковых диаметрах проекций дисков на плоскость, нормальную их оси, более чувствительны, нежели водомеры с плоским диском¹⁾.

Движение диска представляет собою его качение по верхней и нижней поверхностям камеры с одновременным скольжением.

Действительно, длина окружности плоского диска равна (рис. 12):

$$l_1 = 2\pi r, \dots \dots \dots (29)$$

а длина окружности оснований конусов камеры:

$$l_2 = 2\pi r \cos \theta, \dots \dots \dots (30)$$

почему диск, катясь по коническим поверхностям камеры, должен скользить в обратную сторону на протяжении:

$$l_1 - l_2 = 2\pi r (1 - \cos \theta), \dots \dots \dots (31)$$

что соответствует центральному углу на диске:

$$\varepsilon_1 = \frac{2\pi r (1 - \cos \theta)}{r} = 2\pi (1 - \cos \theta) \dots \dots \dots (32)$$

Величина угла θ принимается обычно равной 20° , вследствие чего $\cos \theta = 0,94$ и ε_1 в этом случае равен $21^\circ 35'$.

В водомере с коническим диском по рис. 13 длина окружности основания диска:

$$l_1 = 2\pi r = 2\pi \rho \sin \beta, \dots \dots \dots (33)$$

а длина окружности нижней стенки камеры:

$$l_2 = 2\pi \rho, \dots \dots \dots (34)$$

почему диск, катясь по нижней плоскости камеры, должны скользить в сторону движения на протяжении:

$$l_2 - l_1 = 2\pi \rho (1 - \sin \beta), \dots \dots \dots (35)$$

что соответствует центральному углу на нижней плоскости камеры или, что то же, на наружной поверхности конического диска:

$$\varepsilon_2 = \frac{2\pi \rho (1 - \sin \beta)}{\rho} = 2\pi (1 - \sin \beta) \dots \dots \dots (36)$$

¹⁾ G. Daries в своем труде „Note sur les compteurs d'eau“, 1909 г., на стр. 9, разбирая вопрос о водомерах с коническим диском, совершенно упускает из виду существование момента горизонтальных сил M_2 , почему остается совершенно непонятным общеизвестный факт и его утверждение, что означенные водомеры чувствительнее водомеров с плоским диском.

С другой стороны длина окружности основания верхней стенки камеры равна:

$$l_3 = 2\pi r \sin(2\beta - 90^\circ), \dots \dots \dots (34')$$

почему диск, катясь по верхней конической поверхности камеры, должен скользить в обратную сторону на протяжении:

$$l_1 - l_3 = 2\pi r [\sin \beta - \sin(2\beta - 90^\circ)], \dots \dots \dots (35')$$

что соответствует центральному углу на развернутой конической поверхности радиуса r :

$$\varepsilon_3 = 2\pi [\sin \beta - \sin(2\beta - 90^\circ)], \dots \dots \dots (36')$$

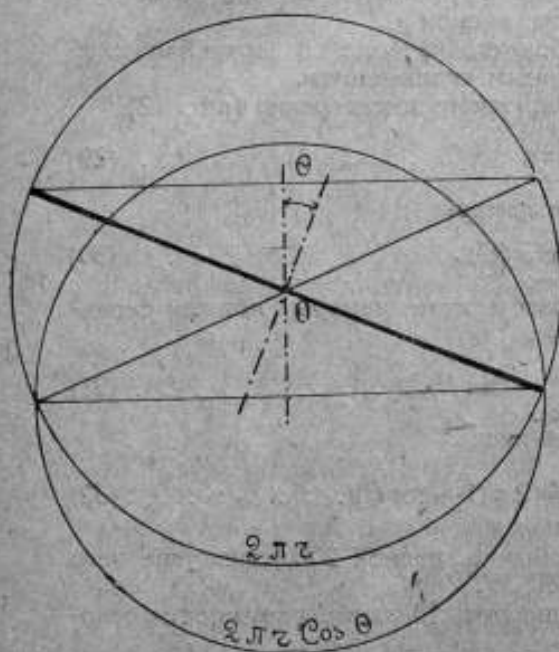


Рис. 12.

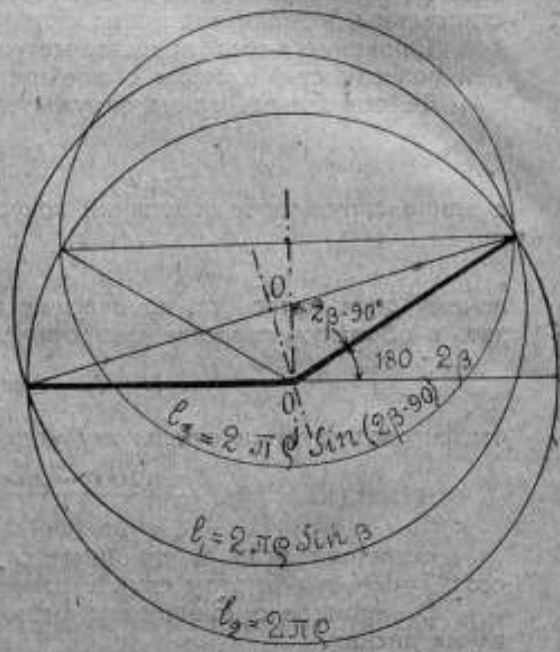


Рис. 13.

Если принять угол $\beta = 70^\circ$, то $\sin \beta = 0,94$ и $\sin [2\beta - 90^\circ] = 0,766$ и соответственно $\varepsilon_2 = 21^\circ 35'$; а $\varepsilon_3 = 62^\circ 31' 45''$; таким образом в водомерах с коническим диском скольжение значительно выше, нежели в водомерах с плоским диском¹⁾.

Из формул (28), (36) и (36') не трудно видеть, что с уменьшением величины угла β с одной стороны увеличивается движущий момент, а с другой — возрастают углы скольжения диска по верхней и нижней стенкам камеры; оба эти взаимно-противоположных условия должны быть скомбинированы наиболее выгоднейшим образом в зависимости от применяемых материалов, чтобы обеспечить водомеру возможно большую степень чувствительности.

Для того, чтобы означенное скольжение и колебание диска не вызвали бы заеданий диска в прорезах у радиальной стенки камеры, краям прореза диска, обхватывающим радиальную стенку, придают закругленную форму.

¹⁾ А. Claus et P. Poinsard Le compteur d'eau, p. 35, 1906.

Давление на шаровой подшипник в каждый момент выражается равнодействующей, слагающейся из давления воды и веса самого диска.

Для водомера с плоским диском, весящим m килограммов, суммарное давление будет равно:

а) при давлении $(\psi - \eta)$, направленном сверху вниз, т.е. при входе воды в водомер

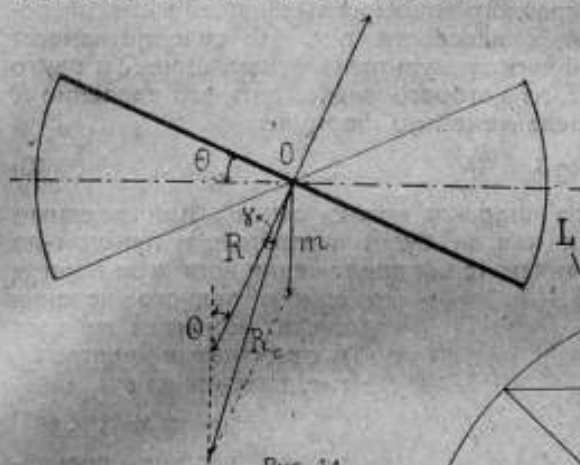


Рис. 14.

в пространство над диском (рис. 14):

$$R_c = R^2 + m^2 + 2Rm \cos \theta \dots \dots \dots (37)$$

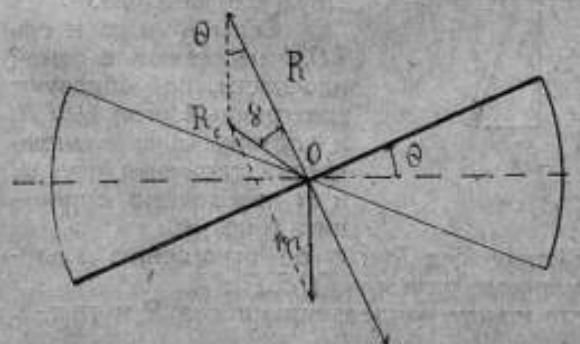
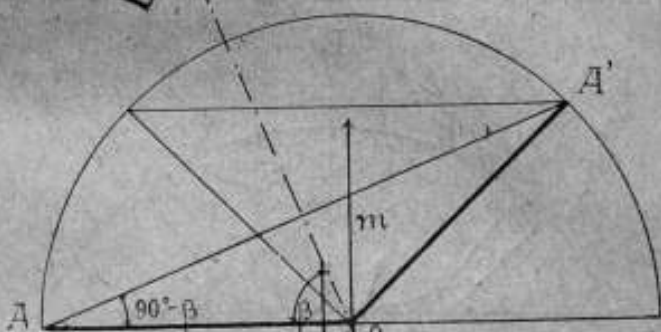


Рис. 15.

Рис. 16.

б) при давлении $(\psi - \eta)$, направленном вверх, т.е. при входе воды в водомер в пространство под диском (рис. 15):

$$R_c = R^2 + m^2 - 2Rm \cos \theta \dots \dots \dots (38)$$

Равнодействующая R_c образует с нормалью диска в его центре некоторый угол γ , который определится из формулы

$$\sin \gamma = \frac{m}{R_c} \sin \theta \dots \dots \dots (39)$$

и находится в вертикальной плоскости, проходящей через общую для диска и камеры касательную AOA' , как это видно из рис. 14 и 15.

Применительно к водомерам с коническим диском отыскание величины и направления равнодействующей R_c значительно сложнее, нежели в водомерах с плоским диском. На рис. 16 изображен вертикальный разрез водо-

мера с коническим диском по касательной AOA' при положении диска, когда входящая вода давит на него сверху; означенное давление, как и результирующее R , т.е. за вычетом обратного давления выходящей воды, расположено в плоскости нормальной к плоскости рис. 16; сечение камеры водомера плоскостью, проходящей через результирующее давление R и центр камеры, представлено на рис. 17, из которого видно, что это давление R составляет с осью LON угол δ , определяемой по формуле:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{R_2}{R_1} \dots \dots \dots (40)$$

Вес самого диска и опорного шара m можно считать приложенным в центре опорного шара O , так как он будет центральным пунктом по отношению к мгновенным положениям точки приложения веса m за период

одного полного качения диска; моментом же веса m относительно центра O , т.е. величиною

$$M_3 = m \times l \dots (41)$$

можно вообще пренебречь в виду того, что он незначителен по величине и действует в плоскости, нормальной к плоскости действия момента M силы R , т.е. прижимает диск к дну камеры по касательной AO , не препятствуя его качению.

Силы R и m и ось LON не лежат в одной плоскости, а образуют трехгранный угол $OBGD$, и потому для возможности сложения сил R и m необходимо определить (рис. 16):

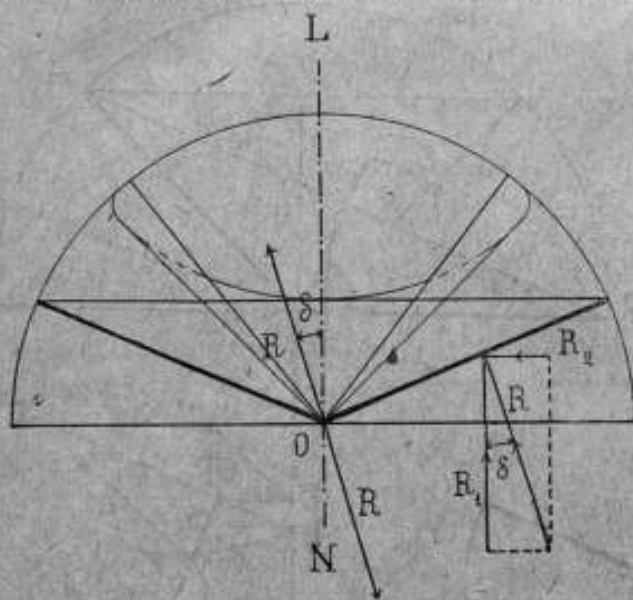


Рис. 17.

а) положение плоскости действия сил R и m по отношению к плоскости AOA' , т.е. величину двугранного угла $\epsilon = GOED$ и

б) величину плоскостного угла между направлениями сил R и m , т.е. угол $\theta = BO'D$.

Для определения означенных величин рассечем трехгранный угол $OBGD$ плоскостью, нормальной к оси LON , так, чтобы она прошла через точку B , и развернем все три треугольных грани получившейся пирамиды на плоскости, как указано на рис. 16; так как плоскость действия силы R нормальна плоскости AOA' , то угол $BGD = 90^\circ$ и потому:

$$a = m \cdot \cos \beta \dots \dots \dots (42)$$

$$O'\Gamma = O\Gamma = m \cdot \sin \beta;$$

$$b = O'\Gamma \times \operatorname{tg} \delta = m \cdot \sin \beta \cdot \operatorname{tg} \delta \dots \dots \dots (43)$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2} \dots \dots \dots (44)$$

$$E\Gamma = O\Gamma \cdot \cos \beta = m \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta;$$

почему тангенс искомого угла ϵ будет равен:

$$\operatorname{tg} \epsilon = \frac{b}{E\Gamma} = \frac{\operatorname{tg} \delta}{\cos \beta} \dots \dots \dots (45)$$

Далее

$$e = O'D = \frac{b}{\sin \theta} = \frac{m \cdot \sin \beta \cdot \lg \delta}{\sin \theta} = m \frac{\sin \beta}{\cos \theta} \dots \dots \dots (46)$$

и из $\Delta O'BD$, стороны которого m , c и e известны, получаем

$$c^2 = m^2 + e^2 - 2m \cdot e \cdot \cos \theta,$$

откуда косинус искомого угла θ будет равен

$$\cos \theta = \frac{m^2 + e^2 - c^2}{2me} \quad (47)$$

На рис. 18 показано сложение сил m и R , направленных в плоскости

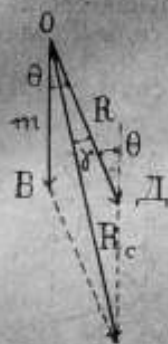


Рис. 18

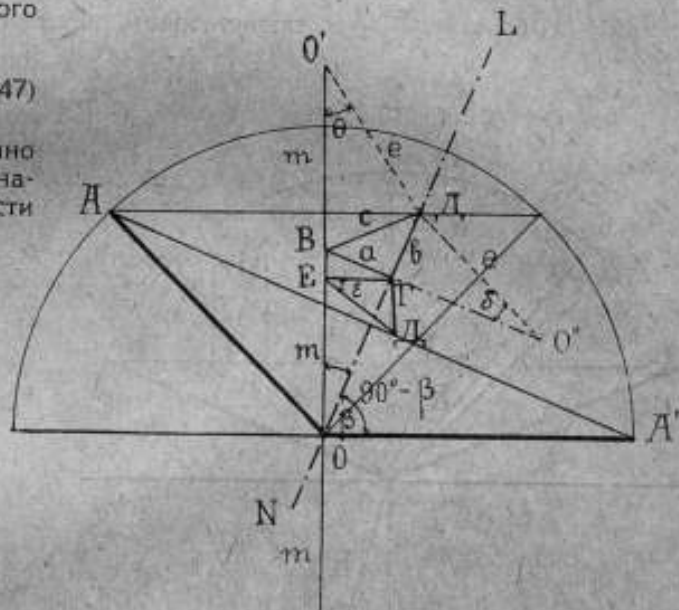


Рис. 19

ВОД под углом θ друг к другу; величина равнодействующей силы R_c будет равна:

$$R_c^2 = m^2 + R^2 + 2mR \cos \theta \dots \dots \dots (48)$$

Направление R_c , т.е. угол γ , составляемый этой силой с силой R определится из формулы:

$$m^2 = R_c^2 + R^2 - 2R_c R \cos \gamma,$$

откуда:

$$\cos \gamma = \frac{R_c^2 + R^2 - m^2}{2R_c R} \dots \dots \dots (49)$$

При другом положении диска по рис. 19, когда входящая в водомер воде давит на конический диск снизу, как указано на фиг. 20, получается аналогичная картина, при чем искомые величины, т.е. углы θ , γ и величина равнодействующей силы R_c выражаются формулами (45), (47), (48) и (49). Все построения приведены на рис. 19, 20 и 21; объяснения же к ним излишни, в виду полной идентичности с предыдущими.

Формулами (37—49) определяются как величина, так и направление R_c . В отношении формул (38) и (49) необходимо заметить, что, в зависимости от веса диска, а также направления и расхода воды через водомер, сила R может быть направлена вверх или вниз по отношению к плоскости диска; при значительных расходах эта сила имеет направление вверх, и этим обстоятельством объясняется износ верхних изложниц шарового подшипника.

Как сказано выше, опорный шар диска движется в подшипнике, имеющем с ним общий центр O ; трение опорного шара о подшипник образует момент, обратный движущему, величина которого может быть приблизительно выражена формулой:

$$M_m = f Pr_0 \frac{\alpha - \sin \alpha \cos \alpha}{\sin^2 \alpha} = f Pr_1 \frac{\alpha - \sin \alpha \cos \alpha}{\sin \alpha}, \quad (50)$$

где $\alpha = \alpha^\circ : (180 : \pi) = \frac{\pi}{2} - \theta$ представляет половину угла при вершине

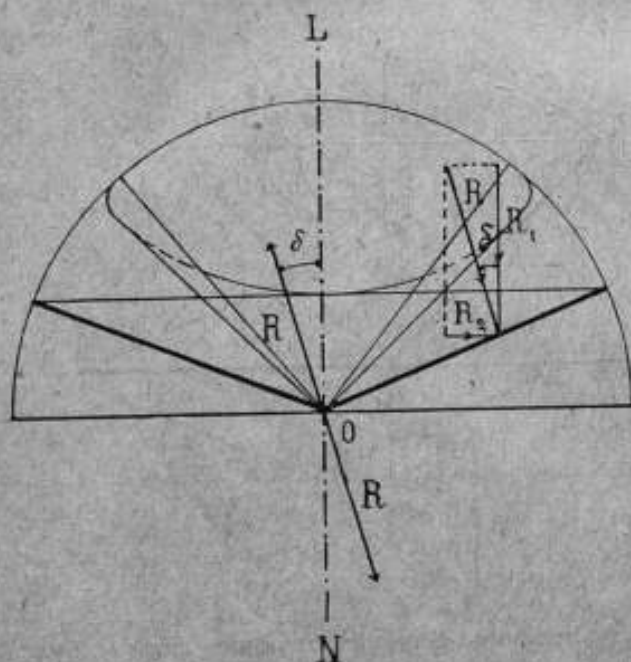


Рис. 20.

конических поверхностей камеры или половину угла обхвата опорного шара подшипником;

f — коэффициент трения соприкасающихся поверхностей;

P — вертикальная составляющая силы R , равная

$$P = m \pm R \cos \theta, \quad (51)$$

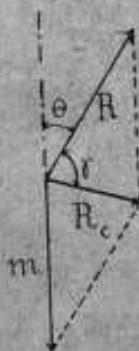


Рис. 21.

r_1 — радиус опорного шара, равный $\frac{r_0}{\sin \alpha}$, где r_0 — радиус круга обхвата опорного шара подшипником (рис. 22 и 23).

Из формулы (50) следует, что момент силы трения увеличивается вместе с весом диска и величиной радиуса опорного шара, а потому, принимая во внимание все вышесказанное о принципе действия водомера и формулы (37), (38), (48) и (50), надо стремиться для увеличения его чувствительности, т. е. правильной работы на малых расходах, к тому, чтобы диск имел возможно больший диаметр при возможно наименьшем весе, а радиус опорного шара был бы возможно мал.

Необходимо заметить, что формула (50) не включает в себе дополнительных сопротивлений, имеющих место при движении диска, а именно: от давления входящей воды на открытый край диска по его толщине и на пятовой шар, которое прижимает диск к противоположной стенке камеры; от трения диска о радиальную стенку камеры, вызывающего упомянутое выше скольжение диска; от трения краев диска о боковые поверхности камеры и т. п.; но эти сопротивления слишком сложны для математического выражения, чтобы их вводить в практические формулы. Кроме того, надо иметь в виду, что формула (50) составлена для

пята в виде шарового сегмента (фиг. 22) с вертикальным осевым давлением P_1 ; в дисковом же водомере равнодействующая R , имеет направление под углом $\theta \pm \gamma$ к вертикали, а потому, кроме вертикальной силы P , на подшипник будет действовать горизонтальное давление

$$P_1 = R \cdot \sin \theta, \dots \dots \dots (52)$$

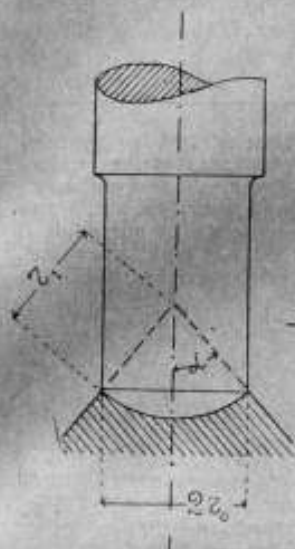


Рис. 22.

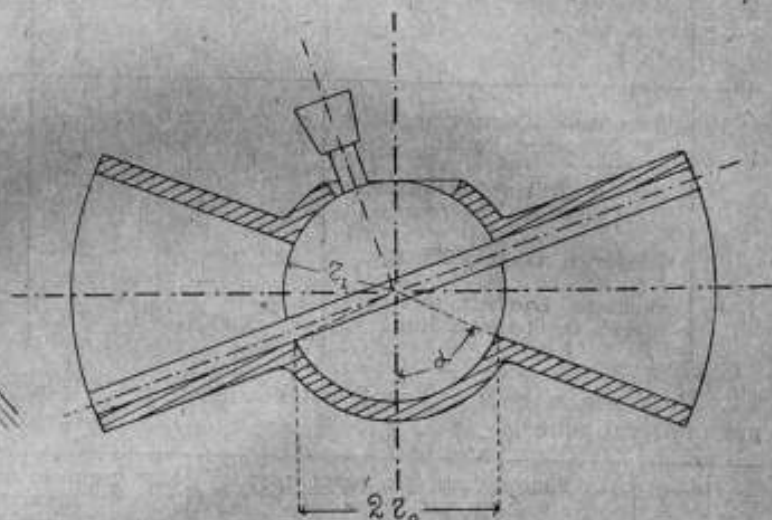


Рис. 23.

прижимающее опорный шар к подшипнику; так как угол θ незначителен по величине, то и значение P_1 сравнительно с P невелико, и по сему формула (50) дает примерное представление о действительном моменте сил трения.

Верхние изложницы подшипника обладают меньшей поверхностью, нежели нижние, вследствие необходимости пропустить через них ось диска (рис. 23), но они соответственно и воспринимают меньшее давление P , уменьшенное весом диска и опорного шара, действующим всегда по вертикали вниз.

Так как вода, проходящая через водомер, испытывает трение об его стенки и ударяет о поверхность диска, то в ргоі можно предположить, что сопротивление водомера прохождению через него воды, т.-е. потеря напора в нем, должна быть в общем пропорциональна квадрату расхода воды через водомер, иными словами — с практической точностью следовать формуле:

$$h = a q^2, \dots \dots \dots (53)$$

где:

- h — потеря напора в водомере в метрах водяного столба;
- a — коэффициент пропорциональности, постоянный для каждого отдельного водомера, и
- q — часовой расход воды через водомер в килолитрах.

Для изучения закона потери напора в дисковом водомере в Водомерной Лаборатории Метрологического Института Главной Палаты мер и весов были поставлены параллельные опыты с тремя дисковыми водомерами

и отрезком обыкновенной водопроводной оцинкованной трубы; характеристика испытанных приборов приведена ниже в таблице:

№№ испытываемых приборов по порядку	Ф И Р М А	Заводский номер	Калибр в мм	Примечание
1	Водомер Compagnie des Compteurs Paris	1902/6200/822869	19	При испытании водомеров расстояние между точками замера давлений было 400 мм, а при испытании патрубков — 380 мм при длине самого патрубка в 185 мм.
2	Водомер Trident Neptune Meter Company. New-York	112446	25,4	
3	Патрубок длиной 185 мм	—	25,4	
4	Водомер Lambert. New-York. М. О. Горовиц. Киев	138987	19	

Результаты опытов изображены на рис. 24 и приведены в нижеследующей таблице.

№№ опытов по порядку	Потери напора в приборе λ в метрах водного столба	Расход воды q в килолитрах в час через				Исчисленные коэффициенты пропорциональности α для			
		Водомер № 1	Водомер № 4	Водомер № 2	Патрубок № 3	Водомер № 1	Водомер № 4	Водомер № 2	Патрубок № 3
1	10	3,48	4,10	15,70	16,25	0,826	0,595	0,041	0,038
2	9	3,30	3,90	14,80	15,20	0,827	0,592	0,041	0,039
3	8	3,11	3,67	13,78	14,40	0,827	0,594	0,042	0,038
4	7,5	3,01	3,56	13,41	13,70	0,828	0,590	0,042	0,040
5	7	2,90	3,42	12,60	13,25	0,832	0,596	0,042	0,040
6	6	2,80	3,17	11,40	12,04	0,829	0,596	0,046	0,042
7	5	2,45	2,90	10,40	10,90	0,833	0,595	0,046	0,042
8	4	2,20	2,60	8,94	9,04	0,827	0,592	0,050	0,042
9	3	1,90	2,28	7,85	8,46	0,831	0,597	0,049	0,042
10	2,5	1,73	2,04	7,07	7,62	0,833	0,601	0,050	0,043
11	2	1,55	1,82	6,33	6,90	0,833	0,604	0,050	0,042
12	1,5	1,34	1,58	5,50	5,84	0,833	0,600	0,050	0,044
13	1	1,10	1,29	4,50	4,98	0,827	0,603	0,050	0,040
14	0,5	0,775	0,91	3,20	3,47	0,832	0,604	0,049	0,042

Как видно из цифр последней таблицы получилось достаточно близкое совпадение результатов опытов с формулой (53), при чем несовпадения в третьем знаке для коэффициентов α можно отчасти отнести к неточностям наблюдений и влиянию переходных патрубков, помещенных между точками замера давлений. Нельзя не отметить, что все испытанные водомеры были хотя и изношены, но старинного изготовления примерно, 1900 года, и потому оказались не подходящими к последней стандартизации, приведенной на странице 230¹⁾.

¹⁾ В ближайшее время лабораторией ожидается получение современных зарубежных образцов дисковых водомеров, которые и будут подвергнуты всестороннему исследованию.

Водомеры дискового типа в благоприятных условиях службы долгое время сохраняют присущие им в начале действия весьма высокую точность и чувствительность, но при недостаточно чистой воде или вообще воде, выделяющей осадки (известковые, железистые и т. п.), сравнительно легко портятся. Точность и чувствительность этих водомеров обуславливаются правильностью их геометрического построения, и потому со временем, когда, в зависимости от прочности материалов, истирание рабочих частей диска и камеры скажется на плотности их пригонки и геометрической правильности, то оба вышеуказанные качества водомеров сильно снижаются.

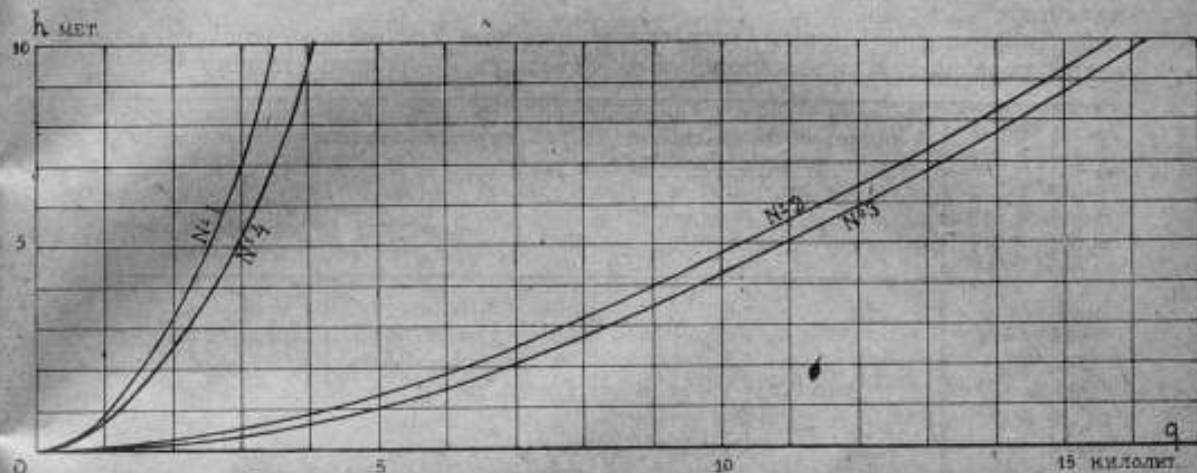


Рис. 24.

Так как до последнего времени в Европе дисковые водомеры служили главным образом для специальных установок, где требовался точный учет воды, то европейские нормы для них на чувствительность и точность весьма строги; так германские фирмы гарантируют для дисковых водомеров, в параллель с аналогичными данными для скоростных водомеров, следующие цифры точности и чувствительности водомеров¹⁾:

		Характерный расход в килолитрах									
		2	3	5	7	10	20	30	50	100	200
Дисковые водомеры	при котором погрешность водомера не превосходит $\pm 2\%$	20	20	25	25	30	35	75	150	300	500
	при котором водомер движется	2-4	2-4	3-5	5-7	7-8	8	—	—	—	—
Скоростные водомеры	при котором погрешность водомера не превосходит $\pm 2\%$	60	75	110	150	300	400	700	1100	2000	3000
	при котором водомер движется	25	30	35	45	65	120	200	500	800	1200

Как видно из приведенной таблицы точные показания дисковых водомеров начинаются с расходов, меньших нежели у скоростных: в 3 раза — для малых и в 7 раз — для средних и больших калибров водомеров²⁾, а чувствитель-

¹⁾ P. Brinkhaus: Das Rohrnetz Stadt. Wasserwerke, 1919, S. 311.

²⁾ A. Gramberg: „Technische Messungen, Bd. I, 1923“, на стр. 208 говорит, что вообще новые дисковые водомеры дают точные показания при расходе в 1% от нормальной пропускной способности, а скоростные при 2% от нее.

ность — с расходов, примерно в 10 раз меньших соответственных расходов для скоростных водомеров.

Практические требования при испытании водомеров на предмет признания пригодности их к службе сводятся обычно к следующему:

а) водомер при часовом расходе в пределах от 100% до 2% от характерного должен регистрировать проходящие через него количества воды с погрешностью не больше $\pm 2\%$;

б) водомер должен двигаться непрерывно при часовом расходе в 1% от характерного хотя бы и без точной регистрации проходящих через него количеств воды.

Американские нормы испытания дисковых водомеров, как сказано выше, гораздо льготнее европейских и сводятся к нижеследующему ⁴⁾:

Калибр водомера в мм	Характерный расход в килолитрах	Пределы точной регистрации при погрешности не свыше $\pm 2\%$ (normal test flow limits)			Минимальный расход, регистрируемый с точностью не ниже 10% (minimum test flow)	
		от		до	в литрах	в % от характерного расхода
		в литрах	в % от характерного расхода	в литрах		
15	3	227	7,6	4542	56,8	1,9
20	5	454	9,08	7721	113,6	2,3
25	7	681	9,7	12036	170,3	2,4
40	20	1135	5,68	22710	340,7	1,7
50	30	1817	6,06	36336	454,2	1,5
80	50	3634	7,27	71536	908,4	1,8
100	100	6358	6,36	113550	1589,7	1,6

Последняя таблица представляет более легкие требования, нежели предъявляемые в Европе к скоростным водомерам. Вообще же различие в нормах поверки в Европе и Америке для дисковых водомеров можно охарактеризовать так: европейские нормы относятся к новым дисковым водомерам или водомерам, эксплуатируемым в особо благоприятных условиях; американские же нормы охватывают также и водомеры, бывшие в долговременном употреблении на водопроводах, т.е. относятся к водомерам обычной службы.

Резюмируя все вышесказанное можно прийти к следующим практическим выводам в отношении дисковых водомеров:

А. В отношении конструирования:

1) Степень чувствительности водомера тем выше, чем больше диаметр его диска, чем меньше вес последнего и чем меньше диаметр опорного шара, ибо движущий момент пропорционален кубу радиуса диска (или его основания при коническом диске), а момент сил трения прямо пропорционален весу диска и радиусу опорного шара: посему водомеры должны иметь возможно большой диск и возможно малый опорный шар при наименьшем возможном их весе, что требует применения легких и стойких материалов.

2) Как следствие из п. 1, водомеры для котельной воды, т.е. с металлическим или бронированным дисками, которые тяжелее обычных дисков, не могут обладать чувствительностью водомеров для холодной воды, а посему обычные нормы испытания и поверки водомеров для холодной воды неприменимы к котельным дисковым водомерам; от последних доста-

⁴⁾ Standard specifications for cold water meters. Disc type. Adopted by the American Water Works Association, June 9, 1921. Adopted by the New England Water Works Association, September 14, 1921; стр. 4—5.

точно требовать, чтобы они в пределах производительности питательного насоса давали бы точные показания.

3) Водомеры с коническим диском чувствительнее водомеров с плоским диском при равенстве диаметра основания первого диаметру второго, ибо в водомерах с коническим диском имеет место дополнительный движущий момент от наличия сил, действующих нормально оси конического диска.

4) Движущий момент водомера с коническим диском тем больше, чем меньше угол при вершине конуса; но уменьшение этого угла увеличивает скольжение при качении диска, почему выбор угла коничности диска должен быть сообразован с этими двумя обстоятельствами.

5) Точность показаний водомеров обуславливается правильностью их геометрического построения, ибо только в этом случае произойдет разделение входящей и выходящей воды в водомере, вызывающее появление движущего момента, а потому срок службы водомеров целиком находится в зависимости от времени изнашивания (истирания) рабочих частей водомера (края диска, стенки камеры, опорный шар и его подшипник), что требует выбора стойких на истирание и прочных на излом материалов, которые в то же время, согласно п. 1, должны быть возможно легкими; в этом отношении наблюдается постоянный прогресс со стороны производства водомеров.

Б. В отношении эксплуатации:

6) В силу п. 5 чувствительность водомеров со временем сильно падает вследствие чего можно считать, что обычно рекламируемые заводами необычайно высокие нормы точности и чувствительности водомеров свойственны первому и не весьма длительному периоду их службы или нахождению водомеров в лабораторных условиях; при обычной длительной службе точность и чувствительность дисковых водомеров пока несколько не выше тех же качеств скоростных водомеров.

7) Ремонт водомеров в отношении рабочих частей, в особенности опорного шара и его подшипника, крайне затруднителен, в виду необходимости точной пригонки и подбора подходящего материала, большей частью патентованного; в СССР при отсутствии заводов, изготовляющих дисковые водомеры, в случае получения последних из-за границы, одновременно должны быть выписываемы запасные диски и опорные шары.

8) До сих пор регулировка водомеров была возможна исключительно подбором шестерней, т.е. при съемке крышки водомера, и представляла операцию длительную. Некоторые заводы (Сименс и Гальске) стремятся сейчас свести регулировку на две верхних шестерни, но пока таких водомеров в СССР нет.

9) Водомер в установке должен стоять циферблатом вверх и горизонтально; боковое положение недопустимо, в виду вызываемого им неравномерного износа рабочих частей и действия веса последних несоответственно принципам конструирования водомеров.

10) Водомеры неприменимы при загрязненных и нефилтрованных водах, а также при жестких и железистых водах, ибо выделяющиеся из подобных вод осадки нарушают плотность соприкосновения рабочих частей водомера и, попадая в зазоры, могут вызвать поломку диска, что имеет сравнительно часто место в водомерах большого калибра.

11) В силу п. 10 ответвление перед установкой водомера должно быть тщательно промыто вплоть до выноса мелкого песка, трудно поддающегося промывке; это правило требует особенно тщательного выполнения после ремонта ответвлений.

12) В силу того же 10 пункта дисковые водомеры требуют перед вводом воды постановки более мелких грязевых сеток, нежели скоростные водомеры.

СЛУЖБА ВРЕМЕНИ ГЛАВНОЙ ПАЛАТЫ МЕР И ВЕСОВ В 1923—1925 гг.

Н. Х. Прейпич и Б. И. Рак.

Настоящая статья представляет собою продолжение статьи „Установление и хранение точного времени“, помещенной в Выпуске I (13) Временника Главной Палаты Мер и Весов, и, кроме того, содержит дополняющие ее данные о работах лаборатории радиотелеграфной службы времени

Глава I. Определения времени в 1924 и 1925 г.г.

Поправки часов определялись попрежнему наблюдателями Н. Х. Прейпичем (П) и Б. И. Раком (Р) на пассажном инструменте Бамберга № 8462¹⁾, в котором были произведены следующие улучшения:

Перешлифованы цапфы; эта работа была выполнена И. И. Кварнбергом; она вывела инструмент из строя на срок с 16/III по 13/V 1924 г. Натянуты новые нити в саморегистрирующем микрометре, который, впрочем, скоро (18/VI 1924) был заменен новым микрометром той же фирмы Бамберг.

С 24/VII по 27/VIII 1924 г. наблюдения производились на пассажном инструменте Бамберга № 11675, который был любезно предоставлен Главной Палате Обсерваторией Ленинградского Университета для работы по определению разности долгот Пулково—Палата. Тип и размер его одинаковы с основным инструментом № 8462.

За 1924 г. определены 44 поправки часов при 573 наблюденных звездах (из них 114 — близполюсных), в 1925 г. — 54 поправки при 749 звездах (из них 157 близполюсных).

В обработку наблюдений введены такие изменения:

1. С января 1924 г. для определения азимута по звездам времени (a_s) применялось уравнение:

$$a_s \cdot \Sigma (A_m - A_l)^2 = \Sigma (A_m - A_l) (b_m - b_l)^2. \quad (1)$$

Ошибки единицы веса η и южного азимута ε_{az} находились по формулам:

$$\eta = \sqrt{\frac{\Sigma (b_m - b_l)^2 - a_s \Sigma (A_m - A_l) (b_m - b_l)}{n - 2}}, \quad \varepsilon_{az} = \frac{\eta}{\sqrt{\Sigma (A_m - A_l)^2}}. \quad (2) \text{ и } (3)$$

Выражения (1, 2, 3) являются следствием применения способа наименьших квадратов к уравнениям вида

$$u_i + A_i \cdot a_s = b_i. \quad (4)$$

и практически удобней обычно применяемой схемы.

¹⁾ См. Временник Г. П. Вып. I (13), стр. 44 и 45.

²⁾ См. цитированную статью, стр. 50 и 51.

2. С января 1925 г. видимые места всех звезд времени вычислялись по формулам Bessel'я, при чем, как и раньше, учитывались и члены короткого периода.

Точность наблюдений 1924 и 1925 г.г. характеризуется нижеследующими средними ошибками¹⁾:

Год	Наблю-датель	$\varepsilon_{ю}$	$\varepsilon_{се}$	ε_1	ε_n	A_m
1924	П.	$\pm 0',049$	$\pm 0',058$	$\pm 0',043$	$\pm 0',015$	$+ 0,24$
1924	Р.	44	46	40	14	27
1925	П.	41	50	40	14	23
1925	Р.	45	47	38	14	28

где $\varepsilon_{ю}$ — ошибка южного азимута, $\varepsilon_{се}$ — северного азимута, ε_1 — поправки по одной звезде и ε_n — полной поправки часов по десяти звездам времени и трем близполюсным (т.е. при наличии четырех определений азимута) при соответствующем значении A_m среднего коэффициента азимута.

Сравнение азимутов a_p , a_{sp} и a_s , т.е. азимутов, определенных по близполюсным звездам в верхней и в нижней кульминациях и по звездам времени, подтвердило отмеченные в 1923 г. систематические разности между ними.

В среднем за 1923—1925 г.г. эти разности составляют:

Наблю-датель	$a_p - a_{sp}$	$a_p - a_s$
П.	$- 0',030 \pm 15$	$+ 0',046 \pm 8$
Р.	$- 40 \pm 13$	$+ 23 \pm 15$
Общее среднее:	$- 36 \pm 10$	$+ 41 \pm 7$

Наиболее вероятно, что причина этих разностей заключается в систематических ошибках прямых восхождений звезд каталога L. Boss'a.

Такое предположение было сделано при обработке наблюдений, выполненных в 1924 г. для определения разности долгот Пулково—Палата. Оно дало для исправления систематических ошибок близполюсных звезд L. Boss'a формулу:

$$\Delta\alpha = - (54 \pm 8) \cdot \sec\delta \cdot 10^{-1}, \dots \dots \dots (5)$$

объясняющую появление разности $a_p - a_{sp}$ равной $- 0',022$. Это предположение подтверждается также в заметке приложенной к настоящей статье. Поэтому можно высказать вывод:

Сопоставление азимутов, определенных по звездам времени, по верхним, по нижним кульминациям близполюсных звезд, дает надежное средство для испытания звездных систем относительно систематических ошибок их прямых восхождений. Это же обстоятельство позволяет построить систему для определения абсолютных азимутов.

Заметим, что сопоставление азимутов требует большой осторожности ибо наличие изменений азимутов во времени способно исказить получаемый результат.

В течение почти всего 1924 г. наблюдаемые поправки часов выравнивались графически по способу, применяемому Международным Бюро Времени²⁾. С конца 1924 г. этот способ больше не применялся, ибо он дает реальный результат лишь при очень частых наблюдениях. Поэтому, в дальнейшем наблюдаемые поправки часов употреблялись без изменений, и только очень близкие из них по времени соединялись в одну—арифметическую среднюю.

¹⁾ Приведенные данные относятся к каталогу L. Boss'a.

²⁾ См. Bulletin Horaire du B. J. H. T. 1. № 12, p. 223; T. 2. № 19, p. 3—10.

Т а б л и ц а I.

Среднее граждан. местное время	Интерполированные на местный полдень (10 ⁰ .0.0СТ) поправки R67*, 1924 г.											
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
0,5	+28,801	+31,113	+34,456	+38,017	+40,821	+42,856	+45,068	+47,485	+50,828	+53,754	+55,772	+58,186
1,5	955	214	579	113	918	890D	160	568	935D	841	898	307
2,5	29,012	316	706	211	41,000	360	231	665	51,048	612	905	422
3,5	084	420	831	310	072	43,044	305	768	151	991	976	333
4,5	110	504	953	409	164	124	383	804	256	54,063	56,042D	642
5,5	154D ¹⁾	601	35,088	515	254	196	460	971D	314	140	119	742D
6,5	221	684	214	614	340	278	528D	48,034	451	230	200	894
7,5	239	787D	347	819	497	352D	608	171	549	313	272	991
8,5	340	895	492	917	580	478	688	268	650D	404	940	59,121
9,5	403	995D	625	99,017	653	564	830	371	749	482	412	240
10,5	471	32,101D	753	39,017	718	645	904	472	851	568	484	372
11,5	530	222	870	115	783	729D	975	572	947	653	548	492
12,5	621	344	988	217	856D	806	46,041	674D	52,035	730	621	626
13,5	693	455	36,095	308	919	883	109	778	120	778	698	756
14,5	767	578	206	413	988	954	183	885	215	840D	776	882
15,5	832	701	321	507	985	44,036	264D	49,101	427	945	846	150
16,5	888	818D	435	597	42,045	105	341D*	215	523	994	994	290
17,5	963	935	545	685	111	169D	418	326D	617	55,048	57,073	425
18,8	30,089	33,064	660	771	170	248	494	450	723	104	147	558
19,5	120	184	770	866	228	248	573	565	882	154	240	680
20,5	161	304	893	954	287D	328	645	676	925	206	330	832D
21,5	235	435	987	40,041	363	402	724D	798	1116D	256	418	970
22,5	294	569	37,093	138	472	453	805	908	53,021	256	508	1,118
23,5	367	685	193	229	536D*	558	890D	50,020	305	360	604D	232
24,5	440D	814	266	311	580	694	975	133	304	424D	698	365
25,5	534	937	389	397	580	767	47,059	304	412	475	702	481
26,5	630	34,066	495	476	641	841D	137	257D	507	536	880	632
27,5	732	198	596	560	732	915	231	377	607	594	980	776
28,5	833D	329	704	653	774	904	308	489	590	651	902	902
29,5	924	476	815	734	813	45,068	396	605	676D	712	186	2,045
30,5	31,024	—	920	821	858	—	435D	724	754	772	—	190
31,5	113	—	88,017	—	858	—	—	828	—	—	—	—

Дни наблюдений поправок часов отмечены буквами D и D* (половинный вес).

1) Смена минут.

Т а б л и ц а I (продолжение).

Среднее граждан. местное время	Интерполированные на местный полдень (10 ^h 0.0 GST) поправки R 67 ^a , 1925 г.											
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
0,5	+ 2,100	- 28,801	+ 3,541	+ 7,705	+ 11,543	- 15,144	17,077	+ 21,410	+ 25,406	+ 28,096	+ 29,346	+ 31,688
1,5	320	671	670	880	677	286	+ 18,075	545D	617	150	412	790
2,5	477	540	770	961	805	328D	169	673	739	201	479D	895
3,5	624	422	874D	8,091	946	428	272	792	855	254	530	32,010D
4,5	780D	294	980	219D	12,073	521	368	923	966	294D	584	119
5,5	932	174D	4,062D	345	197D	621	461D	22,039	26,074	353	662	219
6,5	3,086	041	200	474	323	722D	556	167	187	406	729	307
7,5	238	22,914	329	568	458	823	604	293	296	807	807	403
8,5	385	807	455	724	588	927	742	422	397	508D	891	494
9,5	528	487	582	848D	712	16,026	837	505	505	550	906	582
10,5	668	568	713	912	824	123	940	682	606	606	30,045	671
11,5	808	448	853	9,102	942	218	19,086	816D*	705	662	132	761
12,5	945	396D*	996D	249	168	322	154	954	705	714D	216D	859
13,5	+ 4,078	214D*	5,134	370	490D	426D	282	28,085	878	744	299	957
14,5	- 25,774 ¹⁾	003	282	490D	276	522	382	221	963	783	388	38,052
15,5	645	21,981	428	613	391	625	500	355	27,041	809	467	153
16,5	517D	849	572	741	501	719	619	487	116	825	549	250
17,5	390	724	719	884	621	815	738	621D	190	854D	630	347
18,5	271	602	872D	10,010	731	906	860	763	273	877	706	453D
19,5	152	467D	6,010	143	838D*	17,010	984D	903	358	906	775	590
20,5	034D	352	158	278	947	102	20,101	24,039	427	988	843	726D
21,5	24,015	220	300	411	14,055	186D	232	192	501	979	930	840
22,5	794	092	439	533	165	274	347	329	562D	29,003	995D	1,961
23,5	683	20,979	583D	663	281	359	462	469D	640	034	31,076	34,063
24,5	505	896	725	785D	384	449	594D	614	640	034	152	180
25,5	451	007	868	910	498	534D**	701	748	716	053	152	180
26,5	338	- 20,562	7,012	11,042	599	620	825	877	787	085	224	312
27,5	231D	+ 3,378 ²⁾	150	179	714	707D	932	995	851	122	307	435
28,5	125	541	303	293D	821	704	21,057	927	927	147	392D	557
29,5	019	—	442	542	932D	682	172	25,118	994	183	491	684
30,5	23,006	—	570D	548	15,042	977	291	341	28,056D	234	555	810
31,5	891	—	705	—	144	—	410	375	090	278	688	35,078
								496D	—	346D	—	202

1) R 67^a изменил поправку на — 30^h.2) R 67^a остановился и снова пущен в ход.

Интерполяция поправок производилась, как и раньше, графическим выравниванием ходов; кривая проводилась так, чтобы наблюдаемый средний ход между двумя поправками равнялся среднему из ходов, взятых в том же интервале по графику.

Таблица I дает интерполированные поправки часов R67*, полученные на основании всего комплекса нормальных часов Главной Палаты. Заметим, что интерполированные поправки R67* за период с 16/II по 13/V 1924 г. не могут претендовать на высокую точность, ибо в этом промежутке пассажный инструмент ремонтировался и звездных наблюдений не было ¹⁾.

Глава II. Одностороннее определение долготы Главной Палаты м. и в., выполненное в 1923 г.

Лаборатория Радиотелеграфной Службы Времени начала систематическую работу с 9/XII 1922 г.

Задачами этой лаборатории являются:

1. Регулярный прием сигналов времени различных станций,
2. Разработка и исследование методов приема,
3. Подготовка наблюдателей для Поверочных Палат.

Первые две задачи вовлекают Главную Палату в международную работу, производимую различными учреждениями и обсерваториями, и доставляют необходимый во многих случаях материал для астрономо-геодезических работ, производимых на территории СССР.

Особой и ближайшей задачей рассматриваемого периода явилось одностороннее определение долготы Палаты.

В развитии оборудования Лаборатории отмечаются следующие этапы:

1. В декабре 1922 г. — натянута однолучевая Г-образная антенна длиной около 50 м и установлен детекторный приемник Р. О. Б. Т. и Т. тип РГС1.
2. 10 февраля 1923 г. — описанный приемник заменен детекторным приемником Морского Радиотелеграфного завода тип П. Б. обр. 1916 г. № 37.
3. 18 мая 1923 г. — старая антенна заменена новой двухлучевой Т-образной несимметричной антенной длиной около 120 м.
4. 16 декабря 1923 г. — к приемнику добавлен трехкратный усилитель (тригер) французского типа, включенный на высокую частоту.

Лаборатория производила прием сигналов перечисляемых ниже станций:

1. Новая Голландия (Ленинград — RAG) — 19^h ГСТ, $\lambda = 1500$ м затухающая; с 9/XII 1922 г. по 30/VI 1923 г.
2. Октябрьская (Москва — RAI) — 22^h ГСТ, $\lambda = 5000$ м затухающая; с 5/VII 1923 г.
3. Башня Эйфеля (Париж — FL) — 22^h ГСТ, $\lambda = 2650$ м затухающая; с 21/X 1923 г.
4. Детское Село (RET) — 19^h ГСТ, $\lambda = 7500$ м дуга; с 19/XII 1923 г.

§ 1. Примененные способы приема и оценка их точности.

Прием сигналов производился на звездный контактный хронометр Nardin'a № 672, который сравнивался до и после приема с часами R₆₇* при помощи хронографа ²⁾.

До 7/IV 1923 г. наблюдения велись обычным слуховым способом, а с 8/IV 1923 г. по измененному методу Кука ³⁾; наблюдателями были: Н. Х. Прей-

¹⁾ См. также главу III, стр. 245.

²⁾ См. Временник, Вып. 1 (13), стр. 45.

³⁾ См. статьи: Н. Прейпича — Изв. Р. А. Об-ва, Вып. XXV № 5—9 и Б. И. Рака — Временник Г. П. Вып. 2 (14).

пич, Б. И. Рак, а иногда М. А. Афанасьев. Одновременный слуховой прием по обычному способу обнаружил личные различия:

Период наблюдений	Число приемов	Прейпич—Рак	ε
1922 г. с 22/xii—31/xii	5	$-0,071 \pm 8$	$\pm 0,018$
1923 г. „ 5/i — 30/i	13	$- 68 \pm 3$	10
„ 1/ii — 19/ii	10	$- 95 \pm 4$	14
„ 3/iii — 4/iv	11	$- 98 \pm 5$	18

Здесь ε — средняя ошибка одной разности. Весь ряд дает $\varepsilon = \pm 0,015$, откуда средняя ошибка приема одним наблюдателем $\pm 0,011$, т. е. больше, чем это можно было ожидать по внутренней сходимости, которая характеризуется средней ошибкой одного совпадения $\pm 0,024$. В периоды с приблизительно постоянной личной ошибкой точность приема по слуховому способу можно представить формулой (m — числу совпадений):

$$\varepsilon_m^2 = 0,009^2 + \frac{0,024^2}{m}; \quad (6)$$

первый член этой формулы учитывает мелкие колебания личной ошибки.

Приемы по способу совпадений были приведены к среднему наблюдателю, при чем личная разность принята равной: до 1/ii 1923 г. — $0,069$, а с 1/ii по 7/iv — $0,097$.

Сравнение одновременных приемов по методу Кука, произведенных двумя наблюдателями, не обнаружило никаких личных различий. Сравнение метода совпадений с методом Кука дало следующие редукции на метод Кука:

$$\begin{array}{l} \text{Прейпич: Кук—Слук} = + 0,092 \pm 5 \\ \text{Рак} = - 16 \pm 6 \end{array} \quad \varepsilon_1 = \pm 0,020 \quad n = 18 \quad \begin{array}{l} \pm 17 \\ 8 \end{array}$$

Некоторые указания на порядок личных различий при приеме по методу Кука были получены из сопоставления появлений, отмеченных в главном (T_1) и вспомогательном (T_2) телефонах. Разности $T_1 - T_2$, будучи разбиты по наблюдателям, дали:

1923 г.	Прейпич	Рак	Афанасьев
Июль—август.	$+ 0,009$	$- 0,001$	—
Сентябрь . . .	6	2	$+ 0,011$
Октябрь . . .	7	3	6
Ноябрь . . .	8	1	5
Декабрь . . .	4	2	—
Среднее . . .	$+ 0,006_6$	$- 0,001_8$	$+ 0,007_6$
„ . . .	$\pm 0_6$	$\pm 1_3$	$\pm 1_2$
ε_1 . . .	$\pm 4_6$	$\pm 7_8$	$\pm 6_6$

Приведенные числа указывают, что личная разность меньше $0,01$ и что внутренняя точность одного приема характеризуется средней ошибкой порядка $\pm 0,005$.

§ 2. Результаты приема сигналов „Новой Голландии“ (RAG).

Полученные в Главной Палате моменты приема были сопоставлены с данными циркуляров ГРЛО за № 5, 6 и 7. Результаты сравнения приведены в таблице II, которая дает секунды долготы Палаты (2^{II} — часы и минуты долготы опущены). Следующие столбцы дают отклонения от значения $2^{\text{II}} 15^{\text{m}} 95^{\text{s}}$, дни наблюдения поправки часов и ее вес.

Т а б л и ц а II.

Число месяца	Декабрь 1922 г.			Январь 1923 г.			Февраль 1923 г.			Март 1923 г.			Апрель 1923 г.			М а й 1923 г.			И ю н ь 1923 г.		
	Наблю- датель	λ	$\lambda - \lambda_0$ ¹⁾	Наблю- датель	λ	$\lambda - \lambda_0$ ¹⁾	Наблю- датель	λ	$\lambda - \lambda_0$ ¹⁾	Наблю- датель	λ	$\lambda - \lambda_0$ ¹⁾	Наблю- датель	λ	$\lambda - \lambda_0$ ¹⁾	Наблю- датель	λ	$\lambda - \lambda_0$ ¹⁾	Наблю- датель	λ	$\lambda - \lambda_0$ ¹⁾
1				П	16,02	+07	П и Р	16,00	-05	П	15,85	-10	П	15,89	-06	П	15,93	-02	П	15,83	-12
2				П	16,02	+07	П	15,99	-04	П	15,91	-04	П и Р	15,95	.00	Р	16,00	+05	П	15,86	-09
3							П и Р	15,97	+02	П и Р	15,89	-06	П	15,91	-04	П	16,04	+09	Р	15,85	-10
4							П	16,03	+08	П и Р	15,93	-02	П и Р	16,01	+06	П	16,07	+12	Р	15,88	-07
5				П и Р	16,10	+15	П	15,97	+02	П	15,96	+01	П	15,96	+01	П	16,10	+15	Р	15,85	-10
6				П	16,15	+20	П	15,96	+01	П	15,93	-02	П	15,97	+02	П	16,04	+09	П	15,94	-01
7				П и Р	16,11	+16	П и Р	15,99	+04	П	15,93	-02	П	15,92	-03	Р	15,99	+04	Р		
8				П	16,09	+14	П и Р	15,97	+02	П	15,95	.00	П			П	15,97	+02	П		
9	П	16,08	+13	П и Р	16,04	+09	П	16,01	+08	П	15,94	-01	П	16,00	+05	Р	16,01	+06	Р	15,80	-15
10	П	16,03	+08	П	16,01	+06	П и Р	16,09	+14	П	15,94	-01	П	16,00	+05	П	15,97	+02	П	15,86	-09
11	П	16,01	+06	П и Р	15,99	+04	П и Р	16,01	+06	П	16,00	+05	П	15,97	+02	Р	15,92	-03	Р	15,86	-09
12				П	16,00	+05	П	16,15	+20	П	16,00	+05	Р	15,97	+02	П	15,87	-08	П	15,91	-04
13	П	16,07	+12	П и Р	16,04	+09	П	16,08	+13	П	16,01	+06	Р	15,96	+01	Р	15,82	-13	П	15,93	-02
14	П	16,10	+15				П и Р	15,95	.00	Р	15,99	+04	П	15,98	+03	Р	15,84	-11	Р	15,88	-07
15				П	16,05	+10	П	15,99	+04	П	15,99	+04	Р	15,93	+03	П	15,85	-10			
16	П	16,07	+12	П и Р	16,11	+16	П и Р	16,04	+09	П и Р	16,02	+07	Р	15,97	+02	Р	15,90	-05	Р	15,90	-15
17				П	16,09	+14	П	16,00	+05	П и Р	16,02	+07	П	15,95	.00	П	15,92	-03			
18	П	15,99	+04	П и Р	16,03	+08	П и Р	15,98	+03	П	15,99	+04	Р	15,97	+02	Р	15,96	+01	П	15,84	-11
19	П	16,00	+05	П	16,07	+12	П и Р	16,06	+05	П	16,02	+07	П	15,97	+02	П	15,95	.00	Р	15,88	-07
20	П	15,98	+03	П и Р	16,11	+16							Р	15,98	+03	П	15,93	-02	П	15,90	-05
21	П	15,93	-02	П	16,05	+10	П	15,99	+04	П и Р	16,01	+06				Р	15,99	+04	Р	15,79	-16
22	П и Р	15,97	+02	П и Р	16,05	+10	П	15,96	+01	П	16,00	+05	П	15,94	-01	П	15,95	.00	П	15,71	-24
23	П	15,96	+01	П	16,06	+11	П	15,89	-06	П и Р	16,00	+05	Р	15,93	-02				П	15,69	-26
24				П и Р	16,10	+15				П	15,97	+02				П	15,91	-04	П	15,71	-24
25	П	16,03	+08	П и Р	16,09	+14	П	15,87	-08	П и Р	15,97	+02	П	15,94	-01	Р	15,88	-07	П	15,77	-18
26																					
27	П и Р	15,96	+01	П	16,11	+16	П	15,86	-09	П и Р	15,89	-06				П	15,85	-10	Р	15,78	-17
28	П	16,01	+06	П и Р	16,06	+11	П	15,88	-07				Р	16,01	+06	П	15,90	-05	П	15,81	-14
29	П и Р	16,03	+08	П	16,07	+12	П	15,85	-10	П			П	15,98	+03	Р	15,89	-06	П	15,80	-15
30	П и Р	16,07	+12	П	16,05	+10				П						П	15,86	-09	Р	15,81	-14
31	П и Р	16,04	+09	П и Р	16,06	+11				П и Р	16,03	+08	П	15,95	.00	Р	15,85	-10	М	15,81	-14
32	П и Р	16,07	+12	П	15,99	+04				П	15,97	+02									

1) См. примечание в конце главы II.

Т а б

Число месяца	Июль 1923 г.			Август 1923 г.			Сентябрь 1923 г.		
	Наблю- датель	λ	$\lambda - \lambda_0$	Наблю- датель	λ	$\lambda - \lambda_0$	Наблю- датель	λ	$\lambda - \lambda_0$
1	—	*	*	Р	16,03	+08	А	16,06	+10
2	—	—	—	П	15,96	+01	П	—	—
3	—	—	—	Р	15,98	+03	Р	16,03	+08
4	—	—	—	П	15,96	+01	А	15,99	+04
5	П	15,92	-03	Р	—	—	Р	16,00	+05
6	П	15,95	-00	П	15,95	-00	А	16,08	+13
7	П	15,96	+01	П	15,98	+03	Р	16,10	+15
8	П	15,92	+03	Р	15,93	-02	П	16,02	+07
9	Р	15,88	-07	П	15,92	-06	П	16,00	+05
10	П	15,93	-02	Р	15,93	-02	Р	15,99	+04
11	Р	—	—	П	16,01	+06	А	15,98	+03
12	П	15,94	-01	Р	15,95	-00	Р	15,94	-01
13	Р	15,97	+02	П	—	—	П	15,91	-04
14	П	15,95	00	Р	15,91	-04	Р	15,92	-03
15	П	15,94	-01	П	15,97	+02	А	—	—
16	Р	15,89	-00	П	—	—	П	15,94	-01
17	П	15,92	-03	Р	15,98	+03	А	—	—
18	Р	15,93	-02	П	16,04	+09	П	15,98	+03
19	П	15,95	-00	А	—	—	А	15,98	+03
20	Р	15,96	+01	Р	16,03	+08	П	16,00	+05
21	П	15,97	+02	П	15,98	+03	А	—	—
22	П	15,96	+01	Р	15,94	-01	П	16,12	+17
23	Р	16,03	+08	П	15,92	-03	П	16,06	+11
24	П	15,98	+03	Р	15,92	-03	А	15,96	+01
25	Р	15,98	+03	П	15,93	-02	П	16,02	+07
26	П	16,00	+05	А	15,96	+01	А	16,02	+07
27	Р	16,04	+09	Р	15,95	-00	—	—	—
28	П	15,98	+03	А	15,95	-00	А	15,95	00
29	П	16,02	+07	Р	15,96	+01	П	15,97	+02
30	Р	16,05	+10	А	16,02	+07	П	15,94	-01
31	П	16,07	+12	Р	16,02	+07	—	—	—

1) См. примечание в конце главы II.

л и ц а III.

Число месяца	Октябрь 1923 г.			Ноябрь 1923 г.			Декабрь 1923 г.		
	Наблю- датель	λ	$\lambda - \lambda_0$	Наблю- датель	λ	$\lambda - \lambda_0$	Наблю- датель	λ	$\lambda - \lambda_0$
1	А	15,92	-03	П	15,90	-05	П	15,91	-01
2	А	15,95	-00	П	15,90	-05	П	15,88	-07
3	Р	16,06	+01	П	15,92	-03	Р	15,89	-06
4	А	15,95	-00	А	15,93	-02	П	15,88	-07
5	Р	15,96	+01	Р	15,96	+01	Р	15,89	-06
6	Р	—	—	А	15,97	+02	П	—	—
7	А	15,93	-02	А	15,94	-01	Р	15,96	+01
8	А	16,01	+06	Р	15,93	-02	П	15,92	-03
9	А	15,96	+01	А	15,94	-01	П	15,91	-04
10	Р	15,99	+04	Р	15,98	+03	Р	15,91	-04
11	Р	15,93	-02	А	15,94	-01	П	15,94	-01
12	А	16,00	+05	Р	15,99	+04	Р	15,92	-03
13	А	15,94	-01	А	15,96	+01	П	—	—
14	А	15,90	-05	Р	15,90	+01	Р	—	—
15	Р	—	—	А	15,94	-01	П	15,93	-02
16	А	16,00	+05	Р	15,94	-01	П	15,89	-06
17	Р	16,02	+07	Р	15,98	+03	Р	15,93	-02
18	П	15,98	+03	А	15,98	+03	П	15,96	+01
19	П	—	—	Р	15,93	-02	Р	16,00	+05
20	П	—	—	П	15,96	+01	П	—	—
21	П	—	—	Р	15,91	-04	Р	16,01	+06
22	А	15,95	-00	П	15,88	-07	П	16,02	+07
23	П	15,96	+01	Р	15,94	-01	П	—	—
24	А	15,96	+01	П	15,93	-02	Р	16,02	+07
25	П	15,97	+02	П	15,94	-01	П	16,02	+07
26	А	15,95	-00	Р	15,93	-02	Р	15,98	+03
27	П	15,90	-05	П	15,87	-08	П	15,98	+03
28	П	15,92	-03	Р	15,88	-07	Р	15,98	+03
29	А	15,95	-00	П	15,87	-08	П	15,98	+03
30	П	15,94	-01	Р	15,93	-02	Р	16,00	+05
31	А	—	—	—	—	—	П	15,98	+03

Месячные средние представляются следующими числами:

Месяц	λ	n	ε_λ	ε_p	ε_r
1922 г. Декабрь	$2^h 1^m 16^s,019$	19	$\pm 0^s,048$	$\pm 0^s,027$	$\pm 0^s,040$
1923 г. Январь	16,059	28	41	27	31
Февраль	15,978	26	71	41	58
Март	15,968	28	48	23	42
Апрель	15,962	25	30	25	16
Май	15,937	29	73	28	67
Июнь	15,829	26	65	32	57
Среднее:	$2^h 1^m 15^s,965$	181	$\pm 0,089$	$\pm 0,029$	$\pm 0,048$

Здесь n — число приемов, ε_λ — средняя ошибка одной долготы, полученная по отклонениям от месячных средних, а в последней строчке по отклонениям от общего среднего, ε_p — ошибка приема в Палате и Пулкове, вычисленная по формуле:

$$\varepsilon_p = \sqrt{\frac{\sum \Delta^2}{2n}} \dots \dots \dots (7)$$

(Δ — разность результатов смежных дней); ε_r — ошибка интерполированных поправок Палаты и Пулкова, полученная из уравнения:

$$\varepsilon_r = \sqrt{\varepsilon_\lambda^2 - \varepsilon_p^2} \dots \dots \dots (8)$$

Рассматривая весь период целиком и считая его состоящим из независимых групп, находим $\varepsilon_\lambda = \pm 0^s,056$, между тем как выше мы имели значение $\varepsilon_\lambda = \pm 0^s,089$. Несогласие двух этих значений указывает на значительные систематические ошибки, заключающиеся главным образом в принятых поправках часов. Изучение графика долготы, а также материалов, помещенных в статьях: F. Renz und J. Beljajeff. Empfang rythmischen Zeitsignale... (Изв. ГРАО № 94) и B. Wanach. Der Zeitdienst des G. I. in den J. 1922 und 1923 (Veröf. des G. J. n. F.) в связи с обстоятельствами, отмеченными в статье Н. Прейпича (i. c.), указало на пониженную точность наблюдений Палаты и Пулкова в этом периоде, а потому средний результат $\lambda = 2^h 1^m 15^s,965$ в дальнейшем не был принят во внимание.

§ 3. Результаты приема сигналов Октябрьской радиостанции (RAI).

Таблица III, составленная подобно предыдущей, содержит сопоставление наблюдений Палаты с данными циркуляра ГРАО № 8. Группируя табличные значения по месяцам, имеем:

	λ	n	ε_λ	ε_p	ε_r
1923 г. Июль	$2^h 1^m 15^s,965$	26	$\pm 0^s,048$	$\pm 0^s,024$	$\pm 0^s,042$
Август	15,966	27	38	29	25
Сентябрь	15,957	25	46	25	39
Октябрь	15,956	25	32	27	17
Ноябрь	15,934	30	33	22	25
Декабрь	15,950	26	47	17	44
Среднее	$2^h 1^m 15^s,955$	159	$\pm 0,042$	$\pm 0,024$	$\pm 0,033$

Здесь не заметно влияния систематических ошибок в месячных средних, ибо среднее значение $\varepsilon_\lambda = \pm 0^s,041$, полученное в предположении независимых месячных групп, и значение $\varepsilon_\lambda = \pm 0^s,042$, полученное по отклонениям от общего среднего за полгода, хорошо согласуются. Средняя ошибка

результата по отклонениям отдельных месяцев равна $\pm 0,005$. По сравнению с результатами приема Новой Голландии мы имеем значительное уменьшение ошибки ϵ , но тем не менее остается в силе прежнее заключение, что главную роль играют ошибки определений времени, вызывающие плавный ход в остаточных ошибках.

Полученное здесь значение:

$$\lambda = 2^{\text{h}} 1^{\text{m}} 15,955 \text{ к востоку от Гринича} \dots \dots \dots (9)$$

было принято окончательным.

§ 4. В течение рассматриваемого периода было 39 дней, в которые прием Московских сигналов был произведен в Палате, Пулкове и Потсдаме¹⁾. Этот материал дает:

Пулково — Потсдам	= - 0,034	при $\epsilon_1 = \pm 0,029$
Палата — Потсдам	= - 36	± 31
Палата — Пулково	= 0	± 39

Отсюда же находим, что средние ошибки определения моментов составляют для:

Потсдама	$\pm 0,012$
Пулкова	± 26
Палаты	± 29

В виду незначительного материала эти числа являются весьма приближенными, но все же они указывают на большую точность наблюдений в Потсдаме и примерную равноценность наблюдений в Пулкове и Палате. Для возможности сравнения приводим ошибки определения моментов для шести обсерваторий, найденные проф. В. W a n a s c h'ом (A.N. 5295) на основании наблюдений, охватывающих весь 1922 г., а именно:

Потсдам $\pm 0,030$	Алжир $\pm 0,033$	Гринич $\pm 0,047$
Париж ± 32	Укль ± 45	Эдинбург ± 53

Как уже было сказано раньше, в конце 1923 г. было произведено несколько приемов сигналов станций: Париж и Детское Село. Так как этот материал невелик, то мы присоединяем его к наблюдениям 1924 и 1925 г.г., описанным в следующей главе, а здесь только отметим, что для сигналов Парижа ошибка ϵ , найдена равной $\pm 0,017$.

§ 5. Выводы.

Для средней ошибки приема сигналов на двух пунктах мы имели:

для „Новой Голландии“ — обычный способ	$\epsilon = \pm 0,031$
„ „ „ „ „ метод Кука	± 27
„ „ „ „ „ „ „ „	± 24
„ „ „ „ „ „ „ „	± 17

Так как примененный способ вычисления ϵ дает, вообще говоря, преувеличенные значения, то среднее значение ϵ можно принять равным $\pm 0,020$, откуда для ошибки приема в Палате мы имеем $\pm 0,014$. Отметим, что и это значение чрезмерно велико для приемов, выполненных по методу Кука. Имеющийся в Лаборатории более поздний и обширный материал, говорит за то, что средняя ошибка приемов по указанному способу не превышает $\pm 0,01$.

¹⁾ См. упоминавшуюся статью проф. В. W a n a s c h'а.

Но останавливаясь пока на значении $\pm 0,014$ и воспользовавшись выведенной ранее для Палаты ошибкой определения моментов $\pm 0,029$, мы находим, что точность сохранения времени в Палате за вторую половину 1923 г. может быть охарактеризована средней ошибкой $\pm 0,025$. Мы полагаем, что этот результат может быть распространен и на более ранний период, а именно с 22/ii 1923 г.—момента применения безличного микрометра.

Перечислим вкратце наши основные заключения:

- 1) прием ритмических сигналов обычным слуховым способом может содержать крупные личные ошибки, меняющиеся со временем;
- 2) личные ошибки в приеме по методу Кука ничтожны;
- 3) систематические ошибки в моментах радиосигналов времени вызываются, главным образом, ошибками определений времени;
- 4) долгота Палаты равна $2^{\circ}1'15,95''$ к востоку от Гринича и $2,62_6^{\circ}$ ¹⁾ к западу от Пулкова.

Примечание 1927 г. Опытами, произведенными в 1925 г. было установлено, что существовавшее до 11^hGCT 28/iv 1925 г. включение приборов вызывало в моментах приема систематическую ошибку равную $0,012$. Поэтому все моменты, а, следовательно, и полученные значения долготы должны быть исправлены на $-0,012$.

Далее, по новому определению, сделанному Я. И. Беляевым и Н. И. Днепровским в 1925 г., долгота Пулкова равна $2^{\circ}1'18,572'' E$; поэтому выведенное нами значение долготы Палаты надо исправить на $-0,008$.

Вводя обе поправки имеем:

$$\begin{aligned} \text{Долгота Палаты от Гринича} & - \lambda = 2^{\circ}1'15,93'' E & | & \dots & (10) \\ \text{„ „ „ Пулкова} & - \lambda = & 2,63_6^{\circ} W & | \end{aligned}$$

Наконец, заметим, что таблицы II и III дают возможность получить моменты радиосигналов „Новой Голландии“ и „Москвы“ на основании наблюдений Палаты. Для этой цели нужно к соответствующим данным Бюллетеней ГРАО придать уклоны $\lambda - \lambda_0$, увеличив их предварительно на $-0,012$ (систематическая поправка) и $-0,005$ (третий знак долготы Палаты), т. е. в общем на $-0,02$. Введение такой дополнительной поправки приводит эти результаты в одну систему с результатами более поздних (с 28/iv 1925 г.) лет.

ГЛАВА III.

Моменты радиосигналов, принятых в течение 1924 и 1925 г.г.

Оборудование лаборатории подверглось за это время следующим изменениям:

- 1) 23/vi 1925 г. диапазон волн ранее описанного приемника увеличен до $\lambda = 29000 \text{ м}$ и усилитель—тригер настроен на низкую частоту;
- 2) 1/vii 1925 г. установлен гетеродин;
- 3) 22/ix 1925 г. тригер заменен четырехламповым усилителем;
- 4) 10/xii 1925 г. предыдущий усилитель заменен восьмиламповым усилителем работы инженера А. П. Константинова с реле для автоматической записи сигналов.

¹⁾ В упоминавшихся Бюллетенях ГРАО для долготы Пулкова было принято $\lambda = 2^{\circ}1'18,58''$ к востоку от Гринича.

5) 12/xii 1925 г. в приемном помещении установлен второй пишущий чернилами хронограф Hirtz с длиной секунды около 40 *mm*. Принятая схема включений хронографа не дает повода к возникновению систематических ошибок, что и было подтверждено соответствующими опытами.

Прием сигналов выполнялся Н. Х. Прейпичем и Б. И. Раком, а в мае—июне 1925 г. О. К. Блумберг. 19/xii 1925 г. Н. Х. Прейпич заменен наблюдателем В. Ф. Газе.

Методика приема сохранена всюду прежняя, т. е. применялся почти исключительно метод Кука. Только в конце 1925 г. в нескольких случаях применена автоматическая регистрация. В среднем из пятнадцати сравнений на сигналах различных станций для усилителя Константинова получено:

$$\text{Автоматическая запись — прием по Куку} = +0,009 \pm 2 \dots (11)$$

что и послужило для редукции автоматических приемов на метод Кука.

В 1924—1925 г.г. были приняты сигналы следующих станций:

1. Москва, RA1, —22^h GST, а с 1/iv 1924 г. 21^h GST; $\lambda = 5000$ *m* затухающая по 15/vii 1925 г. за исключением промежутка с 15/iii по 6/iv 1925 г.; $\lambda = 7300$ *m* незатухающая с 15/iii по 6/iv 1925 г., а затем с 16/vii до конца 1925 г. Таблица VI дает моменты (GST) сигналов 0 и 600 (начального и последнего) до 31/iii 1924 г., а затем моменты сигналов 0 и 470 до конца 1924 г. С 1/i по 31/iii 1924 г. сигналу 0 следует приписывать половинный вес, ибо он основан на экстраполяции в среднем за $\frac{1}{8}$ общего числа сигналов.

2. Детское Село, RET, —19^h GST, $\lambda = 7500$ *m* незатухающая. Таблица VII дает моменты (GST) сигналов 0 и 470 до конца 1924 г.

Моменты сигналов Детского Села, а также и Москвы за 1925 г. напечатаны в Бюллетене Комитета Службы Времени при ГПРО за тот же год.

3. Башня Эйфеля, FL, (Париж) —22^h GST, $\lambda = 2650$ *m* затухающая. До 1/iv 1924 г. эти сигналы частично перекрывали сигналы Москвы. Таблица VIII дает моменты (GST) 1-го и 300-го сигналов с октября 1923 г. по октябрь 1924 г.

4. Бордо, LY, —20^h GST, $\lambda = 18900$ *m* незатухающая. Таблица IX дает моменты (GST) 1 и 300 сигналов с 15/ix 1924 г. до конца 1925 г.

5. Науэн, POZ, —12^h GST, $\lambda = 18000$ *m* незатухающая. Прием не регулярный. В таблице X помещены моменты (GST) 1-го и 301-го сигналов за 1924 и 1925 г.г.

Следует принять во внимание такие замечания:

1. Моменты сигналов с 16/ii по 13/v 1924 г. могут содержать заметные систематические ошибки в виду отсутствия астрономических наблюдений за этот период¹⁾.

Вероятные исправления табличных моментов получаем сравнивая результаты Палаты с данными В.И.Н.²⁾ (столбец—наблюденное):

1924 г.	Палата—Париж		Поправка
	наблюденное	вычисленное	
Февраля 16	—0,10	—0,10	0,00
Марта 1	—0,13	—0,09	+0,04
15	—0,15	—0,07	+0,08
Апреля 1	—0,15	—0,06	+0,09
15	—0,15	—0,05	+0,10
25	—0,10	—0,04	+0,06
Мая 3	+0,01	—0,08	—0,04
13	—0,02	—0,02	0,00

¹⁾ См. страницу 232.

²⁾ Bulletin Horaire t. I № 13, 14 и 15; Р. N. № 5462—5489.

Интерполируя из крайних наблюдаемых значений $-0,^{*}10$ (16/п) и $-0,^{*}02$ (13/в), получаем столбец „вычисленное“. Разность вычисленное—наблюдаемое дает искомые исправления, проинтерполировав которые мы имеем следующую таблицу IV поправок к моментам сигналов за период с 16/п по 13/в 1924 г. Сюда же введена упоминавшаяся ранее (стр. 244) поправка $-0,^{*}012$.

Таблица IV.

1924 г. дата	Поправка	1924 г. дата	Поправка	1924 г. дата	Поправка	1924 г. дата	Поправка	1924 г. дата	Поправка	1924 г. дата	Поправка
II / 16	-1	III / 2	+3	III / 17	+7	IV / 1	+8	IV / 16	+8	V / 1	-3
17	-1	3	+3	18	+7	2	+8	17	+8	2	-4
18	-1	4	+4	19	+7	3	+8	18	+8	3	-5
19	0	5	+4	20	+7	4	+8	19	+7	4	-5
20	0	6	+4	21	+7	5	+8	20	+7	5	-4
21	0	7	+5	22	+7	6	+8	21	+6	6	-4
22	+1	8	+5	23	+7	7	+8	22	+6	7	-4
23	+1	9	+5	24	+8	8	+8	23	+6	8	-3
24	+1	10	+5	25	+8	9	+9	24	+5	9	-3
25	+1	11	+6	26	+8	10	+9	25	+5	10	-2
26	+2	12	+6	27	+8	11	+9	26	+4	11	-2
27	+2	13	+6	28	+8	12	+9	27	+2	12	-2
28	+2	14	+7	29	+8	13	+9	28	+1	13	-1
29	+3	15	+7	30	+8	14	+9	29	0		
III / 1	+3	16	+7	31	+8	15	+9	30	-1		

2. Первые приемы станции Науэн при помощи автоматической регистрации подтвердили подозрение, возникшее еще при применении только метода Кука, а именно, что сигналы этой станции посылались с некоторым ускорением.

В этом случае длительность g_n одной секунды часов-нониуса можно выразить формулой:

$$g_n = b + 2c(n-1) \dots \dots \dots (12)$$

где b и c некоторые коэффициенты, n — номер сигнала (от 1-го до 301-го). Для промежутка времени между сигналами i и i , а затем i и j получаются формулы:

$$\text{инт. } (i/i) = b(i-1) + c(i-1)^2 \dots \dots \dots (13)$$

$$\text{инт. } (i/j) = b(j-i) + c(j-i)(j+i-2) \dots \dots \dots (14)$$

откуда средняя длительность секунды между сигналами i и j есть:

$$g_m(i/j) = b + c(i+j-2) \dots \dots \dots (15)$$

Наблюдения дали для величины c следующие значения:

	Ленинград	Потсдам	Гамбург
1925 г. XII 12	$-11 \cdot 10^{-7}$	$-11 \cdot 10^{-7}$	$-14 \cdot 10^{-7}$
14	9	8	10
17	14	7	9
19	17	16	22
23	13	11	14
Среднее	$-13 \cdot 10^{-7}$	$-11 \cdot 10^{-7}$	$-14 \cdot 10^{-7}$

Здесь приведены также результаты наблюдений Потсдама и Гамбурга, любезно сообщенные проф. В. Wapach'ом.

Приняв $c = -13 \cdot 10^{-7}$ получаем, что середина передачи запаздывает по сравнению с концом на

$$v = 151'' - \frac{1}{2}(1'' + 301'') = -22500c = +0,029. \dots (16)$$

Результат приема сигналов этой станции, сделанного по методу Кука или по слуховым совпадениям и обработанного со средним ходом \bar{g}_m ($^{1/200}$), требует поправки в среднем равной $-0,02$. В помещенных в таблице X моментах сигналов Науэна это обстоятельство учтено.

Что касается точности приема радиосигналов в Палате, то мы приведем следующую выдержку из письма профессора В. Wapach'a:

„Разности результатов смежных дней дают такие значения для средних ошибок приемов:

Потсдам	+0,010
Париж (В.Л.Н.)	+0,009 (для моментов E).
Ленинград	+0,012"

Здесь были использованы сигналы Бордо за $2\frac{1}{2}$ месяца 1924—25 г.г. Употребляя более обширный материал, а именно все данные ст. Бордо за 1924 и 1925 г.г. и предполагая, что для Парижа (В.Л.Н.) ошибка приема $\pm 0,009$, мы нашли среднюю ошибку приема в Ленинграде равной $\pm 0,009$.

При применении помещаемых в конце этой статьи материалов надо иметь в виду:

- 1) определения времени основаны на каталоге L. Boss'a;
- 2) долгота Главной Палаты принята равной $2^{\circ}1'15,95'' E$;
- 3) данные до 27/vi 1925 г. включительно требуют поправки $-0,012$ (см. Главу III);
- 4) данные с 16/ii по 13/v 1924 г. менее точны, чем остальные (см. выше стр. 245);
- 5) поправки за скорость распространения электромагнитных волн, а именно для: Москвы $-0,002$, Детского Села $-0,000$, Парижа $-0,007$, Бордо $-0,009$ и Науэна $-0,004$ в моменты не введены.

Кроме перечисленных раньше лиц, приводимые здесь материалы обязаны своим появлением Г. Н. Мокееву, продолжавшему свой неунынный надзор за часами Главной Палаты и О. К. Блумберг, проведеншей значительную часть вычислений. Кроме них в лаборатории работали: Ю. Н. Егоров с мая 1924 г., А. А. Павлова с мая 1924 г. по октябрь 1925 г., Н. Ф. Боева и В. Ф. Газе—в декабре 1925 г.

Приложение.

Влияние разностей в системах Boss'a и Eichelberger'a на определения времени Главной Палатой мер и весов в 1925 г. О. Блумберг.

Крупные систематические разности каталогов Boss'a (B) и Eichelberger'a (E), принятого в Bureau International de l'Heure с 1925 г., искажают сравнение моментов радиосигналов, определенных в Палате и в В.Л.Н.

Поэтому все определения времени Палаты за 1925 г. были заново перечислены в системе Eichelberger'a. В результате вычислений полу-

чена таблица V исправлений (E—B), которые следует придавать к помещенным в таблицах VIII и IX моментам сигналов, чтобы сделать их сравнимыми с данными В.И.Н.

Применение каталога Eichelberger'a повысило внутреннюю точность определений времени и, повидимому, уменьшило систематические разности в азимутах, как это мы видим из приводимых ниже чисел (здесь сохранены обозначения страницы 233).

Каталог	Наблюдатель	τ_1	τ_{20}	τ_{21}	$a_p - a_{sp}$	$a_p - a_s$
B	П	$\pm 0,040$	$\pm 0,041$	$\pm 0,050$	}	}
B	P	38	45	47		
E	П	33	30	40		
E	P	29	41	39	$+0,011$	$+0,032$

но не увеличило внутреннего согласия (за 1925 г.) между данными Палаты и В.И.Н.

Кроме этого способа непосредственного перевычисления наблюдений, до получения полного каталога Eichelberger'a был применен другой способ—способ введения дифференциальных поправок. Необходимые для этого материалы были взяты из статьи Eichelberger'a „New System of Fundamental“ (A. N. № 5353) и частично из American Ephemeris за 1925 г.

Дифференциальные поправки представляются формулами:

$$du_m = \frac{1}{m} du; \quad du = dx - A da_m \dots \dots \dots (16)$$

$$da_m = \frac{p da_p + p_1 da_{sp} + da_s}{p + p_1 + 1} \dots \dots \dots (17)$$

$$da_p = \frac{dx_p}{A_p - A_m} - \frac{1}{A_p - A_m} (dx_p)_m \dots \dots \dots (18)$$

такого же вида как (18) и для da_{sp} и, наконец:

$$da_s = \frac{\sum (A_m - A_i) \left(\frac{1}{m} \sum dx_i - dx_i \right)}{\sum (A_m - A_i)^2} \dots \dots \dots (19)$$

В этих формулах приняты обозначения: u — поправка часов; x — прямое восхождение; A — коэффициент азимута; n — число определений азимута $= p + p_1 + 1$, m — число звезд времени; p, sp — значки соответствующие близполюсным в двух кульминациях; s — значок звезд времени.

Поправки dx были получены при помощи графика. Их среднее значение в условиях наблюдений Палаты $(dx_i)_m = -0,074$. Поправки da_p (или da_{sp}) получались по формуле $da_p = k \cdot \sec \delta$. Коэффициент k был определен сравнением части близполюсных Boss'a с данными American Ephemeris. Найдено $k = 0,010$. Позднейшее сравнение каталога Boss'a с полным каталогом Eichelberger'a показало значительную неточность коэффициента k , но влияние поправки за азимут на поправку du_m при $A_m = 0,25$ оказалось ничтожным особенно при наличии звезд в обеих кульминациях.

При сравнении исправлений E—B, полученных двумя этими способами, средняя разность между обеими системами исправлений не превышала 0,005, хотя в некоторых случаях обнаружались отклонения порядка $\pm 0,04$. Такое обстоятельство, как это оказалось при ближайшем расследовании, было вызвано значительными индивидуальными разностями AR некоторых звезд. Поэтому второй способ не применим при малых рядах наблюдений.

Таблица V.

1925 г. дата	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
1	— 0,06	— 0,07	0,07	— 0,07	— 0,07	— 0,08	— 0,08	— 0,07D	— 0,08	— 0,08	— 0,08	— 0,10
2	0	7	7	7	8	8D	8	7	8	9	10D	10
3	— 9	7	7D	7	8	8	8	7	8	9	10	11D
4	— 9D	7	7	7D	8	8	8D	7	8	10D	10	10
5	0	6D	7D	7	8	8	8	7	8	10	10	10
6	0	7	7	7	8	8	8	7	8	11	10	10
7	0	7	7	7	8	8	8	7	8	11	10	10
8	0	7	7	7	8	8	8	7	8	11	10	10
9	0	7	7	5D	9	9	8	7	8	10	9	9
10	0	7	7	5	9	9	8	7	8	10	9	9
11	0	7	6	5	9	9	7	7D*	8	9	8	9
12	0	8D*	6	5	9	9	7	7	8	9	8	9
13	0	8D*	6	6	9D	9D	7	7D	8	9	8D	9
14	0	7	7	7	9	9	7	7	8	9	8	9
15	0	7	7	7	10	10	7	7	8	9	8	9
16	0	7	7	7	10	10	6	6	8	9	8	9
17	0	7	7	7	10	10	6	5D	8	9	8	9
18	0	7	7	7	10	10	6	5	8	9	8	9
19	0	7D	7	7	10D*	10D*	6	5	8	9	8	9
20	0	7	7	7	10	10	6	5	8	9	8	9
21	0	6D	6	7	10	10	6	5D	8	9	8	9
22	0	6	6	7	10	10	6	5	8	9	8	9
23	0	7	6	7	10	10	6	5	8	9	8	9
24	0	7	6	7	10	10	6	5	8	9	8	9
25	0	7	6	7	10	10	6	5	8	9	8	9
26	0	7	6	7	10	10	6	5	8	9	8	9
27	0	7	6	7	10	10	6	5	8	9	8	9
28	0	7D	7	7	10	10	6	5	8	9	8	9
29	0	7	7	7	10	10	6	5	8	9	8	9
30	0	7	7	7	10	10	6	5	8	9	8	9
31	0	7	7	7	10	10	6	5	8	9	8	9

D* — Поправки с половинным весом.

Таблица VI.
Ритмические сигналы ст. РА1—21^а (22^а) ГСТ. Гринические гражданские моменты 0-го и 470-го (600-го) сигналов.¹⁾

1924 г.	СИГНАЛ		1924 г.	СИГНАЛ		1924 г.	СИГНАЛ				
	Дата	0		600	Дата		0	600	Дата	0	600
I	1	22 ^а 2 ^м	22 ^а 12 ^м	II	8	22 ^а 2 ^м	22 ^а 12 ^м	III	17	22 ^а 2 ^м	22 ^а 12 ^м
		24 ^а 46	12 ^а 22			30 ^а 34	18 ^а 06			18	24 ^а 16
	2	31,50	19,22	10	36,16	23,88	19	25,40	13,14		
	3	32,03	19,81		11	36,02	23,75	20	26,13	13,88	
	4	32,50	20,24	12	33,78	21,43	21	27,12	14,88		
	5	32,13	19,88	13	29,02	16,67	22	27,04	14,77		
	7	32,17	19,91	14	5,25	52,89 ²⁾	24	28,12	15,88		
	8	33,05	20,77	15	31,06	18,80		25	28,75	16,51	
	9	31,10	18,83	16	30,74	18,47 ³⁾	26	29,38	17,12		
	10	29,81	17,56	17	30,91	18,66	27	30,02	17,70		
	11	29,42	17,15	18	31,01	18,77	28	30,63	18,39		
	12	28,63	16,38	19	30,99	18,73	29	30,31	18,06		
	13	29,03	16,79	20	31,26	19,02	30	30,92	18,67		
	14	29,34	17,10	21	31,23	19,01	IV	(0)	(470)		
	15	29,70	17,47	22	31,20	18,94		1	32 ^а 47	12,88	
	16	30,21	17,96	23	30,46	18,22	2	33,49	13,90		
	17	30,72	18,46	24	30,81	18,54	3	34,67	15,09		
	21	29,10	16,82	25	31,03	18,78	4	35,36	15,78		
	22	28,01	15,74	26	31,15	18,90	5	35,54	15,94		
	23	24,25	11,99	27	31,34	19,00	6	36,82	17,22		
	25	24,58	12,38	28	31,39	19,14	7	37,00	17,40		
	26	24,35	12,00	29	31,27	19,02	8	37,04	17,45		
	27	23,55	11,28	III	1	37,50	25,34	9	34,96	15,34	
	28	19,16	6,87		2	37,68	25,44	10	33,02	13,42	
	29	32,15	19,91		3	34,93	22,70	11	31,15	11,54	
	30	32,76	20,49		4	32,26	19,98	12	28,75	9,16	
	31	33,31	21,06		5	32,38	20,13	13	29,51	9,91	
	II	1	30,12		17,81	6	33,24	20,99	14	30,54	10,96
			15,41		3,10	7	33,93	21,68	15	31,52	11,94
		2	29,76		17,52	8	33,23	20,96	17	34,57	14,97
		3	28,59		16,23	9	33,71	21,44	18	36,11	16,52
4		6	23,80		11,54	10	33,83	21,58	19	34,32	14,71
11						33,79	21,51	20	33,14	13,54	
12				32,07		19,80	21	31,79	12,20		
6	23,80	11,54	13	30,43	18,17	22	30,01	10,41			
7	30,52	18,28	14	29,68	16,42	23	28,59	8,99			
			15	25,56	13,28						
			16	23,86	11,58						

1) См. конец главы III.

2) 22^а11^м.

3) см. таблицу IV.

Т а б л и ц а VI (продолжение)¹⁾

1924 г. Дата	СИГНАЛ		1924 г. Дата	СИГНАЛ		1924 г. Дата	СИГНАЛ	
	0	470		0	470		0	470
	21 ^h 2 ^m	21 ^h 10 ^m		21 ^h 2 ^m	21 ^h 10 ^m		21 ^h 2 ^m	21 ^h 10 ^m
IV 24	26,73	7,13	VI 5	33,87	14,27	VII 19	48,84	29,24
25	24,88	5,29	6	34,07	14,46	20	49,46	29,86
26	22,19	2,57	7	33,25	13,65	21	50,01	30,41
27	22,67	3,08	8	33,89	13,78	22	51,16	31,57
28	22,94	3,33	9	33,88	14,29	23	52,46	32,87
29	23,34	3,73	10	34,58	14,98	24	53,69	34,08
30	23,62	4,02	11	35,27	15,67	25	55,14	35,56
			12	35,74	16,17	26	55,29	35,70
V 1	24,00	4,40	13	36,29	16,69	27	56,30	36,71
2	24,51	4,92	14	36,92	16,31	28	57,25	37,65
3	24,85	5,26	15	35,87	16,28	29	58,22	38,63
4	26,05	6,45	16	36,07	16,49	30	59,45	39,85
			17	36,30	16,70	31	61,29	41,70
6	27,76	8,17	18	36,78	17,19			
7	28,65	9,05	19	37,10	17,51	VIII 1	34,99	15,40
8	30,01	10,42	20	37,27	17,68			
9	32,23	12,64	21	37,25	17,66	3	31,05	11,47
10	32,88	13,30	22	37,78	18,18	4	29,26	9,66
11	34,89	15,30	23	38,45	18,86	5	27,59	7,98
			24	39,66	20,07	6	28,52	8,93
14	38,67	19,09				7	29,16	9,57
15	37,72	18,10	27	40,59	20,98	8	29,94	10,35
16	36,67	17,06	28	40,62	21,02	9	29,84	10,24
17	34,42	14,82	29	40,82	21,23	10	30,64	11,04
18	33,08	13,46	30	40,94	21,34	11	31,42	11,83
19	31,56	11,96				12	32,30	12,72
20	30,35	10,76	VII 1	41,12	21,51	13	33,59	13,90
21	29,81	10,21	2	41,12	21,52	14	34,92	15,33
22	28,96	9,36	3	40,94	21,34	15	35,91	16,31
23	27,95	8,35	4	41,26	21,68	16	33,73	14,13
24	25,81	6,22	5	40,18	20,57	17	31,99	12,40
25	25,34	5,75	6	40,52	20,93	18	30,28	10,67
26	26,67	7,06	7	40,85	21,25	19	28,61	8,98
27	28,14	8,54	8	40,90	21,30			
28	29,73	10,14	9	41,47	21,88	21	24,91	5,31
			10	41,52	21,92	22	25,07	5,48
30	31,38	11,80	11	43,20	23,69	23	24,19	4,58
31	31,79	12,19	12	43,81	24,21	24	23,73	4,14
			13	44,19	24,60			
			14	44,62	25,04	26	23,93	4,35
VI 1	32,35	12,74	15	45,23	25,64			
2	32,96	12,36	16	45,26	26,67			
3	33,55	13,06	17	47,70	28,11	28	26,07	6,48
4	33,77	14,18	18	48,59	29,00	29	26,93	7,33

1) См. конец главы III.

Т а б л и ц а VI (продолжение)¹⁾

1924 г.			1924 г.			1924 г.				
Дата	СИГНАЛ		Дата	СИГНАЛ		Дата	СИГНАЛ			
	0	470		0	470		0	470		
IX	1	21 ^h 2 ^m 27,24	X	12	21 ^h 2 ^m 27,14	XI	25	21 ^h 2 ^m 33,46	21 ^h 10 ^m 13,89	
	2	27,63		13	28,18		26	34,10	14,50	
	4	28,59		14	28,96		27	34,81	15,20	
	5	28,97		17	32,37		28	35,28	15,68	
	6	28,48		18	32,72		29	34,99	15,37	
	7	29,16		19	33,60		30	35,14	15,54	
	8	29,74		20	34,42		XII	1	33,00	13,38
	9	30,99		21	32,89			2	30,95	11,35
	10	31,76		22	31,03			3	29,41	9,81
	11	32,59		23	29,17			4	28,10	8,50
	12	33,31		24	27,46			5	26,98	7,36
	13	33,13		25	24,64			6	25,11	5,53
	14	33,90		26	24,20			7	26,54	6,96
	15	34,38		27	25,08			8		
	16	32,89		28	26,03			9	28,54	8,95
	17	31,12		29	27,04			10	29,65	10,06
	18	29,90		30	28,19					
	20	25,90		31	29,31					
21	24,36	XI	2	29,44	12	32,37	12,79			
22	23,13		3	29,57	13	33,04	13,44			
24	23,39		4	30,13	14	34,51	14,91			
26	25,64		5	30,85	15	35,01	16,03			
27	26,12		6	31,38	16	34,43	14,83			
28	27,71		7	32,30	17	33,52	13,90			
30	30,27		8	32,76	18	33,08	13,48			
X	1		31,66	9	34,14	19	33,24	13,67		
	2		33,50	10	35,02	20	32,93	13,36		
	3		35,29	11	30,93	21	32,49	12,89		
	5		33,03	12	32,74	22	32,19	12,60		
	6		31,74	13	34,32					
	7	30,82	14	26,32	24	23,56 ²⁾	3,95 ³⁾			
	8	29,65	15	31,05	25	23,48	3,89			
	9	28,78	16	31,85	26	22,39	2,78			
	10	27,90	17	32,39	27	22,70	3,10			
	11	26,36	18	32,68	28	23,68	4,09			
			19	33,08	29	24,76	5,16			
		20	33,40							
		21	33,79							
		22	32,92							
				31	27,58	7,99				

1) См. конец главы III.

2) 21^h3^m.3) 21^h11^m.

Таблица VII.
Ритмические сигналы ст. RET—19^а ГСТ. Гриничские гражданские моменты 0-го и 470-го сигналов^{а)}.

1923/24 г. Дата	СИГНАЛ		1924 г. Дата	СИГНАЛ		1924 г. Дата	СИГНАЛ			
	0	470		0	470		0	470		
XII 19 20 21 22 23 25 27 28 29 31 1 2 4 5 7 8 9 10 11 12 16 17 21 25 29 30 31	19 ^а 2 ^м	19 ^а 9 ^м	II 22 23 24 25 27 28 29 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 14 15 16 17 18 19 22 23 24 25 26 28 29 30 31 IV 1 2 3 4 5 6 7 8 9 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 VI 2 3 4 5 6 7 8	19 ^а 2 ^м	19 ^а 9 ^м	IV 16 17 18 19 20 21 22 23 25 26 27 28 29 30 V 1 2 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 23 24 25 26 27 28 29 30 31 VI 2 3 4 5 6 7 8	19 ^а 2 ^м	19 ^а 9 ^м		
	14 ^а 84	55 ^а 24		16 ^а 48	56 ^а 88		17 ^а 81	58 ^а 21		
	14,37	54,76		15,81	56,22		19,66	60,07		
	14,25	54,63		16,04	56,45		21,25	61,66		
	13,34	53,72		16,28	56,64		19,78	60,18		
	12,95	53,96					18,51	58,92		
				27	16,80		57,00	17,19	57,59	
	12,51	52,93		28	16,59		56,98	15,42	55,80	
				29				13,96	54,36	
	11,65	52,06		1	28,58		68,98			
	11,18	51,55		2	22,95		63,36	25	10,29	50,68
	10,23	50,63		3	20,58		60,94	26	7,76	48,14
				4	17,80		58,20	27	7,94	48,34
	10,19	50,60		5	17,60		58,00	28	8,20	48,60
				6	18,42		58,82	29	8,60	48,99
	16,62	57,03		7	19,06		59,48	30	8,89	49,29
				8	18,54		58,94			
	17,72	58,12		9	18,90		59,32	1	9,27	49,67
	17,51	57,90		10	19,06		59,47	2	9,75	50,16
				11	19,30		59,69			
	17,36	57,76		12	17,59		57,96	5	12,27	52,67
	18,20	58,62						6	12,94	53,35
	16,08	57,07		14	14,24		54,63	7	13,88	54,28
	15,22	55,59		15	11,24		51,63	8	15,24	55,64
	14,68	55,09		16	9,04		49,44	9	17,38	57,78
	14,06	54,40		17	9,41		49,78	10	18,19	58,60
				18	8,90		50,29	11	20,02	60,44
	15,43	55,89		19	10,58		50,98	12	23,71	64,12
	15,96	56,35						13	24,22	64,62
				22	12,23		52,62	14	23,84	64,24
	14,44	54,83		23	12,86		53,26	15	21,86 ^{б)}	62,27 ^{б)}
		24	13,30	53,73	16	22,04	62,44			
9,41	49,84	25	13,89	54,29	17	19,74	60,12			
		26	14,54	54,94	18	18,43	58,83			
17,32	57,72				19	16,97	57,36			
17,96	58,38	28	15,84	56,24	20	15,74	56,12			
18,44	58,85	29	15,59	55,99	21	15,16	55,56			
		30	15,91	56,32						
16,78	57,13	31	16,64	57,04	23	13,35	53,77			
2,21	42,52				24	11,32	51,73			
14,84	55,26	IV 1	17,65	58,05	25	10,47	50,88			
14,84	55,21	2	18,06	58,05	26	11,87	52,28			
		3	19,86	60,20	27	13,35	53,75			
15,72	56,12	4	20,57	60,98	28	14,90	55,33			
		5	20,86	61,26	29	15,85	56,26			
26,52	66,93	6	22,04	62,43	30	16,69	57,10			
		7	22,30	62,70	31	17,16	57,57			
51,95 ¹⁾	32,28	8	22,33	62,72						
1,18	41,65	9	20,40	60,80						
16,19	56,58 ²⁾	11	16,59	56,99	2	18,23	58,64			
16,28	56,65				3	18,82	59,23			
16,22	56,62	13	14,72	55,11	4	19,06	59,46			
		14	15,72	56,14	5	19,14	59,57			
16,46	56,85	15	16,71	57,13	6	19,38	59,77			
					7	18,68	59,02			
					8	18,66	59,07			

1) 19^а 1^м.2) 19^а 3^м.3) 19^а 10^м.

4) См. конец главы III.

5) См. таблицу IV.

Таблица VII (продолжение)⁴⁾.

1924 г. Дата	СИГНАЛ		1924 г. Дата	СИГНАЛ		1924 г. Дата	СИГНАЛ					
	0	470		0	470		0	470				
VI 9 10 12 13 14 15 16 17 19 20 21 22 23 24 27 28 30	19 ^h 2 ^m	19 ^h 9 ^m	IX 3 4 6 7 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 21 28 29 30	19 ^h 2 ^m	19 ^h 9 ^m	XI 5 7 8 10 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29	19 ^h 2 ^m	19 ^h 9 ^m				
	19 ^h 13	59 ^h 53		13 ^h 52	53 ^h 01		16 ^h 06	56 ^h 48				
	19,79	60,20		13,88	54,28		17,53	57,94				
	20,99	61,40		13,69	54,10		17,94	58,34				
	21,55	61,95		14,42	54,82		20,70	61,11				
	21,27	61,67		16,20	56,61		17,84	58,26				
	21,15	61,54		17,00	57,41		19,32	59,73				
	21,36	61,75		17,80	58,21		40,55	80,99				
	21,58	61,98		18,54	58,95		16,39	56,81				
	22,38	62,77		18,44	58,84		17,03	57,45				
	22,55	62,97		19,11	59,52		17,62	58,04				
	51,99	62,41		19,60	60,02		17,88	58,28				
	23,03	63,43		18,30	58,69		18,34	58,75				
	23,64	64,03		17,650	56,90		18,63	59,04				
	24,98	65,37		14,98	55,38		19,04	58,45				
	25,86	66,29		13,48	53,88		18,31	58,71				
	25,98	66,38		9,74	50,15		18,21	58,61				
	26,22	66,63		12,84	53,24		18,37	58,78				
	VII 1 2 3 4 5 6	26,36		66,76	14,17		54,59	18,72	59,12			
		26,42		66,82	15,45		55,85	19,31	59,72			
		26,20		66,69	X 2 4 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29		18,64	59,05	20,03	60,43		
		26,51		66,92			19,40	59,80	20,50	60,91		
		25,56		65,05			15,99	56,38	20,31	60,71		
		25,80		66,21			15,00	55,41	XII 1 2 3 4 6 7 8 9 10 12 14 15 18 19 20 21 22 23 25 26	18,46	58,86	
		VIII 4 5 6 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 21 22 23 24 25 26 27 28 29		14,70			55,10	14,07		54,47	16,96	60,06
				13,01			53,41	13,24		53,64	20,82	61,23
				13,75			54,15	11,85		52,24	18,37	58,77
				15,18			55,57	12,25		52,67	18,50	58,90
				15,18			55,57	13,38		53,79	18,36	58,76
				15,88			56,28	14		6,81 ¹⁾	17,52	57,93
16,65			57,06	15		15,23	19,66	60,06				
17,54			57,94	16		16,34	20,82	61,23				
18,68			59,10	17		17,56	18,37	58,77				
20,09			60,51	18		17,99	18,50	58,90				
21,35			61,73	19		18,80	18,36	58,76				
19,28			59,66	20		19,62	17,83	58,23				
17,44	57,84		22	16,52		17,51	57,92					
15,72	56,11		24	12,90		18,56	58,99					
10,16	50,57		25	10,16	7,68 ²⁾	48,06 ³⁾						
10,35	50,76		26	9,43	7,37	47,76						
9,61	50,00		27	10,26	8,85	49,27						
9,02	49,43		28	11,23	9,93	50,34						
8,84	49,24	29	12,23	11,19	51,59							
9,20	49,60	31	14,50	12,72	53,12							
9,91	50,33	XI 1 2 3	14,46	54,87								
11,23	51,65		14,63	55,05								
12,17	52,58		14,76	55,19								
X 1 2	12,51	52,93										
	12,86	53,27										

1) Дан момент 360-го сигнала, 19^h 8^m.2) 19^h 3^m.3) 19^h 10^m.

4) См. конец главы III.

Таблица VIII.

Ритмические сигналы ст. FL ($\lambda = 2650''$) — 22^a ГСТ. Гриничские звездные моменты 1-го и 300-го сигналов ²⁾.

1923 г.		СИГНАЛ		1924 г.		СИГНАЛ		1924 г.		СИГНАЛ			
Дата		1	300	Дата		1	300	Дата		1	300		
X	21	23 ^a 57 ^m 45 ^s .60	38 ^a .74 ¹⁾	1	1	4 ^a 41 ^m 24 ^s .08	17 ^a .96	II	20	7 ^a 58 ^m 12 ^s .62	5 ^a .86		
					2	45	7.07		21	8 2	52.83	46.08	
	25	0 13 0.46	53.67		3	49	48.13		22	7	33.13	26.38	
					4	53	30.91		23	11	14.69	7.94	
	27	22 6.15	59.37		5	57	12.61		24	14	56.42	49.67	
					7	5 6	36.75		26	22	19.17	12.40	
XI	1	41 4.02	57.25		8	9	19.08		27	26	0.57	53.80	
	2	44 38.06	31.30		9	13	0.82						
					10	18	40.62		29	39	15.56	8.81	
	5	56 17.94	11.19		11	20	25.59						
					12	25	7.06		III	1	38	2.22	55.46
	10	1 15 53.01	46.26		15	36	14.05		2	41	43.39	36.64	
					16	40	55.80		3	56	12.33	5.58	
	20	59 41.69	34.93		17	45	37.54		4	50	5.44	58.69	
	21	2 0 19.17	12.41		19	52	3.28		5	53	47.23	40.50	
	22	3 42.75	35.98		20	56	44.96		7	9 2	10.16	3.41	
					21	6 0	27.62		8	8	48.30	41.54	
	27	25 53.30	40.54		22	4	9.24		9	15	26.02	19.29	
	28	28 20.92	14.17		23	8	40.25		10	13	14.13	7.37	
	29	32 5.71	58.95		25	16	12.13		11	16	55.83	49.07	
					26	19	55.79		12	21	35.33	28.57	
XII	1	39 12.12	5.37		27	23	39.50		13	25	15.96	9.21	
	2	45 54.76	45.01		28	27	21.66		14	28	55.52	48.75	
	5	47 35.13	28.38		29	16	12.13		15	33	33.36	26.60	
					29	19	55.79		16	37	12.26	5.49	
	8	8 6 58.90	52.15		31	43	9.18		17	42	49.03	42.86	
	9	10 39.98	33.22		32	47	50.43		18	45	31.23	24.50	
	10	14 21.41	14.67		33	51	32.71		19	49	11.24	4.49	
					34	55	14.79		20	52	52.27	45.50	
	16	38 20.59	19.84		35	58	56.67		21	10 8	18.44	11.68	
	17	45 4.70	57.96		36	7 9	37.47		22	1	10.47	3.71	
	18	43 49.27	42.51		37	6	20.62		23	4	49.85	43.09	
	19	50 29.13	22.36		38	14	42.90		24	8	29.96	23.23	
	20	54 11.10	4.34		39	19	22.38		25	14	6.70	59.96	
	21	57 52.12	45.36		40	24	1.70		26	17	48.25	41.52	
	22	4 2 31.80	25.05		41	26	43.94		27	20	31.40	24.64	
					42	31	23.77		28	24	13.38	6.62	
	24	9 55.80	49.04		43	35	5.24		31	37	16.23	9.40	
	25	13 37.93	31.17		44	38	47.84		IV	1	40	57.35	50.58
	26	17 18.75	11.95		45	42	28.90		2	44	38.23	31.48	
	27	21 58.80	52.05		46	46	10.48						
	28	25 40.19	33.45		47	50	50.66		4	51	59.32	52.58	
	29	29 21.10	14.33		48	54	31.45						
	30	34 1.41	54.65		49								
	31	37 43.41	36.63										

¹⁾ Промежуток между 1-м и 300-м сигналами равен 4^m 53^s с дробью.

²⁾ См. конец главы III.

Таблица VIII (продолжение)¹⁾.

1924 г.		СИГНАЛ		1924 г.		СИГНАЛ		1924 г.		СИГНАЛ				
Дата		1	300	Дата		1	300	Дата		1	300			
IV	5	10 ^h 55 ^m 39 ^s ,81	33 ^o ,00	V	28	14 ^h 25 ^m 2 ^s ,08	55 ^o ,34	VIII	8	10 ^h 8 ^m 36 ^s ,86	30 ^o ,11			
	6	11 0 18,43	11,66		29	28 47,20	40,47		9	13 20,45	13,72			
	7	1 57,71	50,04		30	32 32,52	25,79		10	17 5,42	58,07			
	8	5 35,46	28,70		31	36 18,17	11,44		11	20 50,70	43,97			
	9	12 13,93	7,19		VI	2	44 48,52		41,77	19	52 48,14	41,41		
	10	16 51,38	44,64			3	48 34,41		27,06		21	20 0 16,87	12,12	
	11	19 32,73	25,98			6	15 0 50,10		43,37		22	4 4,07	57,33	
	12	24 11,11	4,37			7	4 35,54		28,80		23	7 48,89	42,15	
	13	27 51,06	44,30			8	8 21,36		14,63		24	11 34,40	27,87	
	14	32 29,96	23,22			9	12 7,42		0,68		26	20 3,79	57,04	
	15	36 11,60	4,84			10	15 53,19		46,44			28	27 34,73	27,99
	16	39 53,65	46,90			11	20 37,77		31,02			29	31 20,00	13,27
	17	43 35,35	28,59			12	24 23,39		16,66			30	35 4,84	56,11
	18	47 16,76	10,00			13	28 8,71		1,96			31	39 49,64	42,30
	19	50 59,43	52,70		14	31 54,19	47,46		IX	1		43 34,21	27,47	
	20	55 40,92	34,17		16	42 21,34	14,61			2		47 10,10	12,38	
	21	12 0 22,76	16,02		17	49 3,41	56,67			3		51 4,11	57,36	
	22	3 6,66	59,88		19	51 40,79	34,05			4		55 48,08	41,34	
	23	6 49,19	42,44			22	16 3 56,78			50,08		5	58 34,00	27,28
	24	11 9,64	2,88			24	11 28,68			21,93	6	21 3 18,10	11,34	
	25	16 50,61	43,87			29	31 9,02			2,26	7	7 3,08	56,34	
	26	18 36,09	29,33			30	34 54,76			48,01	8	10 48,39	41,66	
	27	23 16,65	9,89			VII	3			46 12,29	5,55	9	14 33,39	26,06
	V	1	38 57,87				51,11			4	50 58,29	51,56	10	19 17,54
		2	42 39,69				32,96		5	54 45,27	38,54	11	23 2,56	55,84
		3	46 21,95				15,20		8	17 7 3,24	56,51	12	26 47,00	40,88
		4	51 0,35				54,10		14	30 40,67	33,91	13	30 33,23	26,49
		5	54 43,06		36,33		15		34 26,90	20,15	14	47 5,03	58,28	
		6	58 24,74		18,01		23		18 5 30,50	23,77	15	39 5,05	58,31	
		7	13 2 5,32		58,55		VIII		1	45 18,82	12,08	16	42 49,71	42,96
8		5 45,76	39,00	3	48 55,21			48,48	17	46 33,52	26,79			
9		10 25,39	19,19	4	53 39,43			32,69	18	62 4,39	57,35			
10		14 8,58	1,83	6	19 2 7,38	0,62		19	65 2,36	55,62				
11	17 51,12	44,37	7	4 52,13	45,40	20		57 47,50	40,78					
13	26 16,17	9,43	X	5	58 23,24	18,49		21	22 2 30,22	23,48				
15	33 42,10	35,36		8	48 55,21	48,48		23	11 55,81	49,06				
16	37 25,40	18,65		9	53 39,43	32,69		24	20 31,86	25,12				
17	42 7,42	0,67		14	30 40,67	33,91		25	18 21,14	14,41				
18	45 50,54	43,81		15	34 26,90	20,15		26	22 4,29	57,53				
19	49 55,90	49,19		18	5 30,50	23,77	27	25 47,60	40,85					
20	53 48,73	42,01		23	18 5 30,50	23,77	28	29 30,70	23,94					
21	14 1 33,23	26,49		30	37 54,48	47,73	30	37 54,48	47,73					
23	5 12,34	5,91			6	19 2 7,38		0,62	X	5	58 23,24	18,49		
24	8 59,02	52,29			7	4 52,13		45,40						
25	12 45,41	38,66												
27	21 16,80	10,06												

1) См. конец главы III.

Таблица IX.
Ритмические сигналы ст. LY—20^a ГСТ. ($\lambda = 18900$ м). Гринвичские звездные моменты 1-го и 300-го сигналов ¹⁾.

1924 г. Дата	СИГНАЛ		1925 г. Дата	СИГНАЛ		1925 г. Дата	СИГНАЛ	
	1	300		1	300		1	300
IX 15 16 18 19 20 21 22 23 24 25	19 ^a 54 ^m 8 ^s ,36	1 ^s ,89 ^{b)}	I 27 28 II 1 3 4 7 10 13 16 19 22 25 28	4 ^a 34 ^m 11 ^s ,57	4 ^s ,84	V 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31	10 ^a 55 ^m 40 ^s ,99	34 ^s ,24
	51 1,10	54,36		36 58,05	51,30		59 25,54	18,79
	57 30,70	23,97		52 57,28	50,53		11 1 9,51	2,79
	20 0 17,13	10,40		5 1 26,21	19,40		5 51,27	44,52
	4 1,21	54,47		4 12,08	5,35		9 34,55	27,80
	10 41,64	34,90		17 23,12	16,39		14 16,98	10,23
	11 29,44	22,69		25 41,98	35,24		18 0,30	53,54
	15 13,02	6,27		38 45,73	39,00		21 43,36	36,60
	21 51,51	44,75		50 48,14	41,38		25 27,56	20,81
	25 33,08	26,92		6 4 48,58	41,81		29 11,05	4,32
28 18,02	11,26	15 50,76	44,00	33 54,94	48,20			
35 56,76	50,00	27 52,58	45,83	41 33,91	27,16			
47 30,61	23,86	41 54,54	47,79	42 20,98	14,23			
42 23,23	16,48	III 1	43 38,58	31,81	43 8,10	1,36		
44 8,28	1,54	4	57 41,27	34,52	48 49,57	42,81		
X 1 4 7 10 13 16 19 23 25 28	49 47,80	41,04	7 5 47,62	40,86	50 35,56	26,81		
	58 56,69	49,94	18 52,37	45,63	53 21,22	14,50		
	21 36 5,78	59,23	29 59,00	52,25	61 59,58	52,82		
	25 5,86	59,13	41 4,32	57,56	59 51,92	45,18		
	37 11,58	4,84	54 10,29	3,54	12 33,27	26,52		
	45 23,38	16,61	8 4 18,78	12,04	12 14,47	7,73		
	56 25,63	18,87	17 25,33	18,59	15 1,02	54,28		
	22 16 4,87	58,14	32 32,56	25,81	17 46,01	39,26		
	23 26,86	20,10	IV 1	47 25,42	18,68	25 25,64	18,90	
	39 35,13	28,40	2	49 10,89	4,13	24 15,68	8,93	
XI 1 4 7 10 13 16 19 22 25 28	50 31,77	25,04	3 53 54,42	47,66	28 59,22	52,49		
	23 2 39,95	33,20	9 0 34,89	28,14	38 37,10	30,35		
	11 49,64	42,90	1 21,16	14,41	38 25,44	18,69		
	24 55,07	48,33	7 3,14	56,40	41 13,39	6,64		
	36 3,69	58,96	8 49,72	42,97	VI 1	45 56,77	50,02	
	48 18,96	7,20	14 33,67	26,92	2 51 38,65	31,91		
	4 18,36	11,60	18 18,43	11,67	3 53 24,91	18,19		
	12 34,08	27,32	25 58,20	51,45	4 56 10,13	8,38		
	29 34,43	27,67	28 45,11	38,36	5 59 53,35	46,00		
	35 44,53	37,78	32 29,75	22,99	6 13 9 30,49	23,75		
XII 2 4 7 10 13 16 19 22 25 28	50 30,78	24,04	34 16,56	9,80	7 22,74	15,99		
	58 53,40	46,64	40 57,98	50,81	8 14 4,97	56,22		
	1 12 59,29	52,51	40 46,37	39,62	9 18 48,71	41,98		
	24 5,69	58,92	50 22,38	15,64	10 21 34,45	27,70		
	36 8,10	1,33	49 11,37	4,62	11 29 14,76	8,02		
	47 10,74	4,00	52 55,77	49,02	12 32 1,24	54,50		
	2 0 11,09	4,34	58 38,00	31,27	13 32 51,01	44,27		
	16 12,95	6,30	10 6 18,04	11,30	14 35 37,73	31,00		
	24 20,51	13,78	6 7,16	0,42	15 39 22,59	15,83		
	34 26,54	19,81	9 50,44	43,69	16 44 5,84	59,10		
1925 г. 1 4 7 10 13 16 19 22	50 13,23	6,49	12 34,78	26,05	17 48 49,33	42,58		
	3 2 18,86	12,12	18 16,19	6,43	18 52 34,06	27,93		
	19 17,80	11,04	21 59,62	52,87	VII 1	14 43 23,93	17,17	
	22 32,21	25,45	25 42,40	35,65	2 46 10,34	3,60		
	35 39,37	32,61	27 29 26,21	19,45	3 51 54,62	47,39		
	46 46,10	39,37	35 7,03	0,28	4 57 39,16	32,44		
	59 20,73	13,99	37 51,09	44,35	5 15 2 25,65	18,92		
	4 14 32,36	25,61	V 1	46 16,47	9,72	6 2 17,57	10,83	
			2	52 56,02	49,27	7 5 6,37	59,64	
						8 11 50,51	43,78	

¹⁾ См. конец главы III.

²⁾ Промежуток между 1-м и 300-м сигналами равен 4^m 53^s с дробью.

Т а б л и ц а IX (продолжение).

1925 г. Дата	СИГНАЛ		1925 г. Дата	СИГНАЛ		1925 г. Дата	СИГНАЛ				
	1	300		1	300		1	300			
VII 10	15 ^A 17 ^m	27,60	20,87	IX 7	19 ^A 12 ^m	5,38	58,64	XI 4	22 ^A 58 ^m	55,42	48,74
11	22	13,60	6,86	8	13	56,91	50,19	5	23 7	51,24	44,54
12	27	58,35	51,62	9	21	40,42	32,69	6	5	57,35	50,64
14	34	33,52	26,79	10	21	34,26	27,53	7	10	54,51	47,82
16	44	4,12	57,39	11	32	16,00	9,27	8	19	47,67	40,99
17	47	50,82	44,10	12	36	5,20	58,48	9	18	59,33	52,66
18	50	38,80	32,06	13	35	0,83	54,11	10	23	3,75	57,08
19	55	24,90	17,86	14	37	52,69	45,96	11	33	57,77	51,07
20	18 0	10,67	3,94	15	45	40,10	33,39	12	33	4,32	57,62
21	3	57,62	50,88	16	44	37,86	31,14	13	35	14,75	8,10
22	14	37,45	30,71	17	48	30,07	23,35	14	38	14,70	8,02
23	15	28,83	22,11	18	58	18,52	11,81	15	45	11,68	5,02
24	21	14,24	7,50	19	20 0	17,02	10,31	16	46	18,78	12,09
25	22	5,11	58,35	20	0	19,42	12,71	17	51	18,08	11,38
26	23	55,20	48,47	21	5	17,38	10,69	18	50	20,39	13,70
27	25	45,52	38,80	23	13	13,24	6,56	19	0 0	8,70	1,99
28	32	30,14	23,42	24	18	10,54	3,84	20	3	5,33	58,64
31	41	58,55	51,80	25	20	10,12	3,42	21	6	6,33	59,63
VIII 1	46	46,48	39,74	26	24	9,96	3,32	22	13	1,35	54,85
2	50	35,89	28,96	27	31	9,06	2,36	23	16	2,74	56,06
3	52	27,80	21,06	28	40	6,76	0,99	24	19	3,81	57,12
4	17 0	14,15	7,44	29	37	20,26	13,59	25	22	5,55	58,89
5	3	6,23	59,70	30	41	25,01	18,34	26	23	13,59	7,04
6	6	57,46	50,74	X 1	44	28,53	21,84	27	31	16,44	9,72
7	13	45,09	38,37	2	47	30,70	24,02	28	34	8,84	2,12
8	15	38,15	31,43	3	52	29,77	23,08	29	38	2,14	55,44
9	18	30,56	23,84	4	55	30,82	24,14	30	38	0,71	54,00
10	23	22,01	15,30	5	58	32,65	25,97	XII 1	46	49,92	43,23
11	23	19,85	12,94	6	21 3	36,18	29,50	2	49	45,51	38,79
12	30	7,57	0,83	7	7	41,76	35,08	3	54	42,62	35,92
13	33	58,76	52,02	8	9	48,68	42,03	4	54	46,18	39,50
14	40	45,54	38,82	9	21	43,22	36,55	5	1 6	35,89	29,19
16	43	31,59	24,87	10	21	49,46	42,78	6	6	39,44	32,75
17	48	20,29	13,60	11	23	52,47	45,77	7	11	36,47	29,76
18	55	6,85	0,14	12	27	53,40	46,73	8	12	39,49	32,80
19	55	1,73	55,02	13	30	56,81	50,12	9	21	32,72	26,08
20	18 1	48,62	41,88	14	35	58,99	52,24	10	21	36,52	29,82
21	5	38,87	32,14	15	42	57,71	51,02	11	26	33,84	27,14
22	6	32,26	25,58	16	43	6,06	59,37	12	32	30,83	24,13
23	12	20,01	13,27	17	46	13,21	6,54	13	35	32,30	25,61
24	16	9,54	2,81	18	52	15,87	9,20	14	36	36,64	29,96
26	24	49,49	42,78	19	55	21,88	14,71	15	41	39,16	32,48
27	26	44,73	38,01	20	22 2	21,83	15,15	16	52	34,12	27,44
28	34	33,06	26,34	21	6	26,48	19,80	17	49	44,25	37,56
29	35	31,28	24,58	23	11	36,57	29,91	18	52	45,77	39,08
30	40	24,67	17,96	24	17	36,89	30,20	19	57	43,35	36,66
31	45	16,51	9,78	25	20	40,61	33,93	20	2 1	42,71	36,01
IX 1	45	12,90	6,18	26	28	39,16	32,52	21	4	42,98	36,27
2	53	58,42	51,70	27	28	48,81	42,13	22	10	39,38	32,67
3	55	50,22	43,49	28	29	50,50	43,81	23	13	38,78	32,10
4	58	40,35	33,64	29	29	50,50	43,81	24	16	39,85	33,19
5	19 3	27,56	20,83	30	35	49,13	42,44	26	23	45,61	38,92
6	6	17,85	11,11	31	41	47,86	41,17	27	29	42,44	35,74
				XI 1	48	48,71	42,03	28	34	41,37	34,67
				2	52	50,44	43,75	29	39	43,61	36,94
				3	54	53,13	46,45	30	40	53,17	46,48
								31	44	53,72	47,02

Таблица X.
Ритмические сигналы ст. POZ ($\lambda = 18000 \text{ м}$) — 12^h ГСТ. Гриничские гражданские моменты 1-го и 301-го сигналов²⁾.

1924 г. Дата	СИГНАЛ		1924 г. Дата	СИГНАЛ		1925 г. Дата	СИГНАЛ	
	1	301		1	301		1	301
VII 21	12 ^h 0 ^m 59 ^s ,06	12 ^h 5 ^m 52 ^s ,17	IX 20	12 ^h 0 ^m 59 ^s ,10	12 ^h 5 ^m 52 ^s ,18	II 28	12 ^h 0 ^m 59 ^s ,24	12 ^h 5 ^m 52 ^s ,30
25	59,01	52,15	21	59,27	52,31	III 2	59,30	52,36
27	58,98	52,12	22	59,33	52,38	4	59,22	52,32
28	58,95	52,09	23	59,35	52,44	8	59,10	52,24
29	58,14	52,27	24	59,43	52,43	11	59,16	52,24
30	58,12	52,25	25	59,40	52,46	13	59,24	52,39
31	59,11	52,24	26	59,42	52,49	17	59,24	52,41
VIII 2	59,10	52,24	27	59,33	52,38	19	59,24	52,36
4	59,15	52,27	29	59,11	52,14	22	59,25	52,41
5	59,20	52,30	30	59,09	52,14	25	59,16	52,30
7	59,15	52,28	X 1	59,10	52,11	28	59,38	52,53
8	59,20	52,32	4	59,23	52,32	IV 1	59,48	52,58
9	59,18	52,29	8	59,12	52,19	4	59,22	52,33
11	59,19	52,34	10	59,09	52,14	7	59,34	52,46
12	59,21	52,31	13	59,17	52,23	13	59,21	52,32
13	59,18	52,30	18	59,30	52,38	17	59,11	52,26
14	59,16	52,25	22	59,08	52,16	22	59,22	52,31
15	59,06	52,22	25	59,26	52,34	25	59,24	52,35
16	59,02	52,16	XI 10	59,11	52,14	27	59,27	52,33
17	59,03	52,16	13	59,00	52,04	29	59,21	52,34
18	58,92	52,05	16	59,03	52,06	V 4	59,30	52,44
19	58,90	52,03	19	59,02	52,06	8	59,39	52,49
20	58,94	52,06	23	59,13	52,19	11	59,28	52,45
21	58,97	52,09	25	59,15	52,23	12	59,28	52,41
22	59,03	52,17	28	59,11	52,15	13	59,26	52,42
23	59,04	52,14	XII 1	59,24	52,27	14	59,21	52,39
24	59,03	52,17	4	59,06	52,10	15	59,19	52,36
25	59,09	52,21	11	58,63	51,68	16	59,21	52,42
27	59,17	52,27	15	58,95	52,00	18	59,30	52,47
28	59,22	52,26	19	59,15	52,24	21	59,21	52,38
30	59,05	52,15	22	59,18	52,21	23	59,23	52,36
31	59,16	52,24	25	59,26	52,30	25	59,23	52,38
IX 1	59,22	52,38	29	59,22	52,26	VI 1	59,16	52,32
2	59,16	52,29	1925 г.			4	59,12	52,26
3	59,18	52,28	I 1	59,01	52,06	6	59,10	52,36
4	59,17	52,26	4	59,11	52,25	12	59,23	52,39
5	59,20	52,30	9	59,14	52,20	13	59,21	52,43
6	59,21	52,28	10	59,22	52,30	17	59,30	52,44
7	59,18	52,32	15	59,40	52,50	27	59,26 ¹⁾	52,39 ¹⁾
8	59,20	52,32	16	59,43	52,50	29	59,26 ¹⁾	52,41 ¹⁾
9	59,18	52,30	19	59,63	52,71	VII 1	59,09	52,32
10	59,17	52,32	23	59,30	52,39	6	59,37	52,54
11	59,21	52,29	26	59,06	52,13	10	59,04	52,24
12	59,23	52,33	28	59,12	52,21	XI 12	59,23	52,31
13	59,15	52,27	II 1	59,32	52,38	18	59,22	52,29
15	59,22	52,37	4	59,14	52,23	23	59,23	52,31
16	59,12	52,17	7	59,08	52,14	XII 12	59,15	52,24 ²⁾
17	59,04	52,12	10	59,21	52,31	14	59,20	52,30 ²⁾
18	59,05	52,14	13	59,21	52,32	16	59,33	52,41
19	59,09	52,12	16	59,25	52,33	17	59,30	52,48 ²⁾
			19	59,22	52,28	19	59,27	52,39 ²⁾
			22	59,11	52,18	23	59,32	52,38 ²⁾
			25	59,08	52,17			

1) На волне 3100 м.

2) Автоматическая запись при помощи реле.

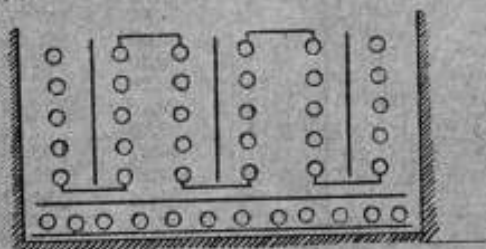
3) См. конец главы III.

ИЗМЕРЕНИЕ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ В СВЯЗИ С ВОПРОСОМ О ВЫБОРЕ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ВОЛЬТМЕТРА, КАК ЭТАЛОНА.

С. Н. Усатый.

1. Развитие техники высокого напряжения идет с тенденцией непрерывного повышения напряжения.

На современных линиях передач электрической энергии напряжение дошло до 220000 вольт, и некоторые приборы в таких линиях должны выдерживать тройное напряжение, т. е. около 700000 вольт максимального напряжения. Таким образом, технике высоких напряжений уже теперь необходимо располагать испытательными установками до 1×10^6 вольт.



кого напряжения, что достигается или выключением последовательно с вольтметром большого безиндукционного сопротивления, или делением высокого напряжения при помощи конденсаторов, или секционированного большого сопротивления и, наконец, при измерениях исключительно переменного тока — выделением в трансформаторе особой измерительной обмотки, понижающей напряжение. Как понижение высокого напряжения большим сопротивлением, так и конденсаторами технически выполнимо лишь до изве-

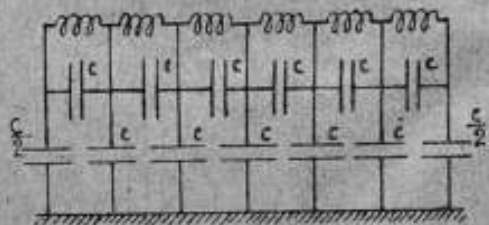


Рис. 1.

Успехи последних лет по выпрямлению переменного тока высокого напряжения в постоянный ток такого же напряжения неинициально еще более повысят предел практически применимых высоких напряжений. К этому, если прибавить, что частота лучей X растет с напряжением и для лучей ралиа частоты 48×10^{10} напряжение соответствовало бы порядку 2×10^6 вольт, далее, что дезинтеграция атома возможна при помощи мощных высоковольтных разрядов, то приходится прийти к заключению, что и для физики и для техники предел в 1×10^6 вольт уже перейден.

2. Вопросы измерения высокого напряжения были посвящены, начиная с 1869 года и особенно с 1891 г., работы лучших физиков и электриков. С 1905 года начались попытки создать вторичный эталон, по которому можно было бы градуировать технические приборы высокого напряжения.

Применение в качестве такого эталона вольтметра или электрометра низкого напряжения требует понижения измеряемого высо-

кого предела, расширение которого сопряжено с техническими затруднениями и понижением точности измерения.

Уже в пределах до 6000 вольт понижение напряжения большими металлическими сопротивлениями ведет за собой ряд ошибок. В Physikalische Reichsanstalt разработаны и обследованы элементы таких сопротивлений по 2 мегома каждый.

Попытки получить постоянные большие сопротивления неметаллические (Walter, автора и др.) не увенчались успехом.

Большие сопротивления из тонких металлических слоев, получаемых катодным распылением (Ю. Маслаковед), в настоящее время только разрабатываются, сопротивления же из обработанных в вакууме стеклянных палочек (свинцового стекла) еще не достаточно изучены.

Что касается особой понижающей обмотки в самом высоковольтном трансформаторе, то, как видно из эквивалентной схемы этого трансформатора (рис. 1), возможны искажения формы кривой электродвижущих сил не

только от изменения проницаемости магнитной цепи трансформатора, но и от емкостей, входящих в различные цепи нашей системы. В подобной системе возможны повышения напряжения, а следовательно и повышение коэффициента трансформации.

Поэтому, не смотря на постоянство коэффициента трансформации, наблюдаемого мною еще в 1906 году, и на широкое распространение этого способа измерения в испытательных лабораториях, при более точных измерениях его приходится считать только контрольным при других способах.

3. Непосредственное измерение высоких напряжений представляет чрезвычайно трудную задачу. Все стремления создать на основе

ный ток. С развитием выпрямления токов высокого напряжения кенотронами способ Fortescu получил распространение в Америке и Франции (рис. 2). При измерении напряжений выше 150 киловольт конденсатор получает очень большие размеры и его заменили шаровым разрядником (рис. 3). На нижнем шаре выделена кольцом, шириной 0,5 м.м. часть сферы, равной поверхности верхнего шара. Такая замена конденсатора нарушила простоту способа Fortescu в теоретическом отношении, так как электрическое поле и его градиент здесь неравномерны.

4. Большой толчок к разработке «абсолютных» вольтметров-весов Кельвина дал еще в 1910 г. проф. А. А. Чернышев, поместив свои весы до

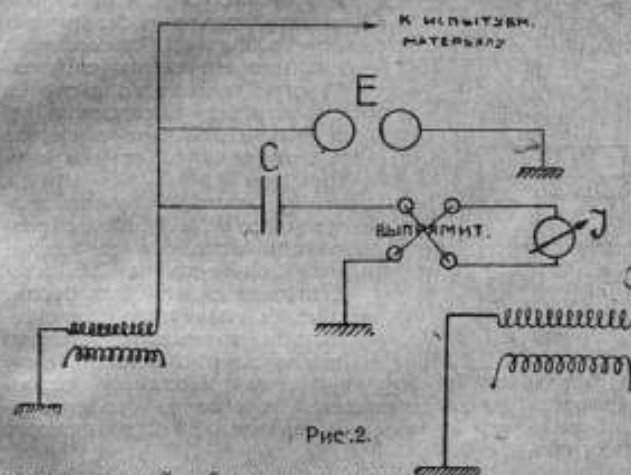


Рис. 2.

наших знаний об электрическом поле и процессе ионизации, эталон-вольтметр высокого напряжения встречают на своем пути такие затруднения, что и по настоящее время непосредственное измерение напряжения, особенно выше 250 киловольт, находится в стадии всестороннего изучения и исследования. Современные методы непосредственного измерения высоких напряжений и соответствующих вольтметров можно разделить на 3 категории:

1) метод, основанный на электростатическом притяжении—весы лорда Кельвина. 2) метод, основанный на явлении короны, данный Руапом и 3) метод разрядника с шарами или острями.

В 1913 г. Fortescu и Schuller предложили измерять высокое напряжение по зарядному току специально сконструированного ими конденсатора. Конденсатор их—цилиндрический, воздушный и, следовательно, без диэлектрических потерь. Если емкость такого конденсатора, которую нетрудно подсчитать, C и уравнение электрического поля $d\psi = CdE$, то максимальное (амплитуда) напряжение $E_{max} = \frac{1}{4f \cdot C} \cdot I$, где f —частота и I —сила тока.

При измерении I чувствительным гальванометром, необходимо выпрямлять перемен-

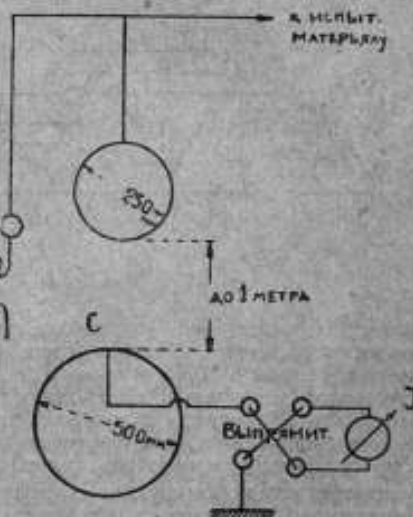


Рис. 3.

150000 вольт в камеру со сжатым до 10 атмосфер инертным газом.

В 1920 г. А. Palm построил на принципе А. Чернышева свой «абсолютный» вольтметр до 250 киловольт, поместив его в камеру со сжатым до 12 атм. азотом (рис. 4). Вольтметр А. Palm'a состоит из двойных равноплечих весов, коромысло AA которых несет на равных расстояниях от оси O два диска p и p_1 и на концах две катушки a и b , соединенные последовательно с вытягивающими их неподвижными катушками I и питающиеся постоянным током от батарей. Сила притяжения F между двумя дисками с охранным кольцом

определяется: $F = \frac{k \pi r^2}{8 \pi d^2} V^2$ дин, где V —раз-

ность потенциалов в электростат. ед., k —диэлектрическая постоянная, r —радиус подвижного диска, d —расстояние между дисками в см. Сила же вытяжения подвижной катушки $F_1 = cI^2$, где I —сила тока, c —постоянная. А. Palm оценивает точность своего вольтметра в 1—2%, если, конечно, выражение для силы F остается неизменным с измене-

нием V . Сохраняется ли это постоянство при высоких V требует доказательства, экспериментальное осуществление которого представляет большие затруднения.

5. С развитием учения о коронировании (свечении) проводников с высоким потенциалом метод, предложенный Руапом (1904), вызвал большой интерес. Согласно работам многих исследователей (Реек, Руап и др.) явление свечения проводников имеет закономерность, и появление свечения зависит прежде всего от максимальной разности потенциалов между проводни-

чтобы на весьма малом расстоянии от поверхности проводника могла быть запасена энергия, необходимая для пробоя за счет падения градиента g_0 до величины g_0 .

Толщина зоны пробоя определяется зоной между g_0 и g_0 и зависит от кривизны поверхности или радиуса проводника. Экспериментально найдена простая зависимость g_0 от радиуса r при плотности δ воздуха:

$$g_0 = \delta \left(1 + \frac{0,301}{\sqrt{\delta r}} \right) \cdot g_0 \text{ кв/см макс.}$$

где $g_0 = 30$ киловольт на см при $\delta = 1$. Вопрос о постоянстве g_0 является спорным и постоянство g_0 можно принимать только в ограниченном разрядном промежутке и при определенных условиях. Теория Townsenda скорее опровергает постоянство g_0 в воздухе, охотно принятое в технике высоких напряжений.

На основании вышеизложенного, Whithead разработал свой высоковольтный вольтметр на 200 киловольт и затем на 400 киловольт (рис. 6), назвав его нормальным и точным. Устройство его весьма простое. Между

двумя изолирующими вводными колонками помещается проволока определенной длины и диаметра. Для каждого

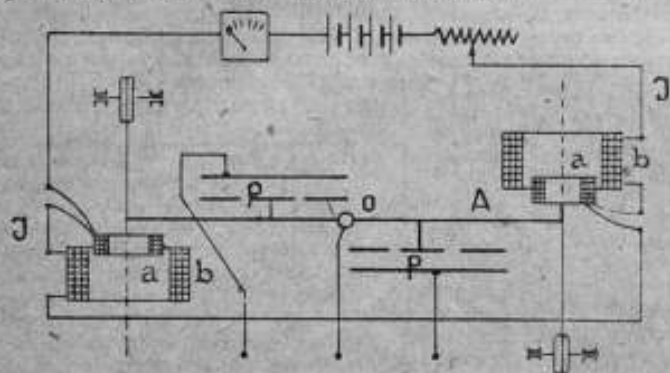


Рис. 4.

ками, или точнее, от градиента электрического поля у поверхности проводников. Теория I. S. Townsend'a об электрическом разряде и пробое в газах дают возможность обосновать в первом приближении экспериментальные формулы зависимости градиента g_0 в киловольтах на см (кв/см) у поверхности коронирующего проводника от разрядного напряжения (градиента) g_0 воздуха при равномерном электрическом поле (рис. 5).

Быстрое возрастание тока насыщения (рис. 5), начиная от точки b , с повышением напряжения Townsend приписывает появлению нового источника ионизации воздуха, что и вызывает свечение газа, т.е. ионное насыщение газа, заметное глазом. Быстрое возрастание тока с началом свечения в точке b Townsend объясняет, что электроны и ионы при потенциале b достигают такой скорости, которая способна при столкновении их с нейтральными молекулами создавать новые электроны и ионы, и плотность ионизации быстро возрастает. Таким образом, видимое свечение проводов является следствием перехода части энергии $\frac{mv^2}{2}$ движущихся ионов в энергию свечения, в энергию электрического пробоя.

Если пробивной градиент g_0 равномерного электрического поля в воздухе данной плотности или данного межмолекулярного расстояния постоянен, то тот же градиент g_0 неравномерного поля вокруг проволоки у ее поверхности должен быть больше g_0 ,

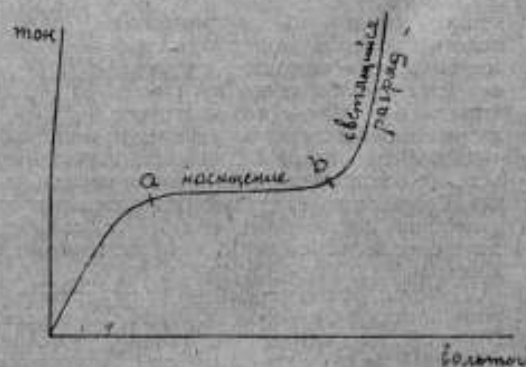


Рис. 5.

вольтметра необходим набор проволок различных диаметров. Эта проволока помещается по оси двух металлических концентрических цилиндров, изолированных друг от друга. Внутренний цилиндр дырчатый металлически связан с сосудом, на котором укреплены вводы. Второй цилиндр присоединен к гальванометру по показанной на рис. 6 схеме. В приливе сосуда вставлен микрофон для наблюдения появления короны по звуку, появление же короны гальванометром замечается по ионизационному току. Максималь-

ное напряжение E в киловольтах определяется по эмпирической формуле:

$$\frac{E}{\delta} = 29,87 + \frac{9,918}{\sqrt{\delta r}} \text{ — отриц. потенц. корона}$$

$$\frac{E}{\delta} = 33,03 + \frac{8,541}{\sqrt{\delta r}} \text{ — полож. потенц. корона.}$$

Недостатки этого вольтметра, как эталона, ясны из предыдущего.

6. В Америке довольно продолжительное время высокое напряжение измерялось по разрядному промежутку между острями. В настоящее время такой разрядник является практически высоковольтным вольтметром, особенно в рентгенотехнике. Иногда одно из острий заменяется диском. Электронная теория разряда в газах показывает всю неустойчивость и непостоянство разрядных напряжений между острями, и в этом отношении предложенный мной еще в 1937 г. метод измерения высоких напряжений (рис. 7) быть может является более надежным, если измерения вести на участке кривой до тона насыщения (рис. 5).

В настоящее время разрядник с острями заменен эталонным разрядником с шарами. Теория

вольтах, l — расстояние в см между поверхностями шаров.

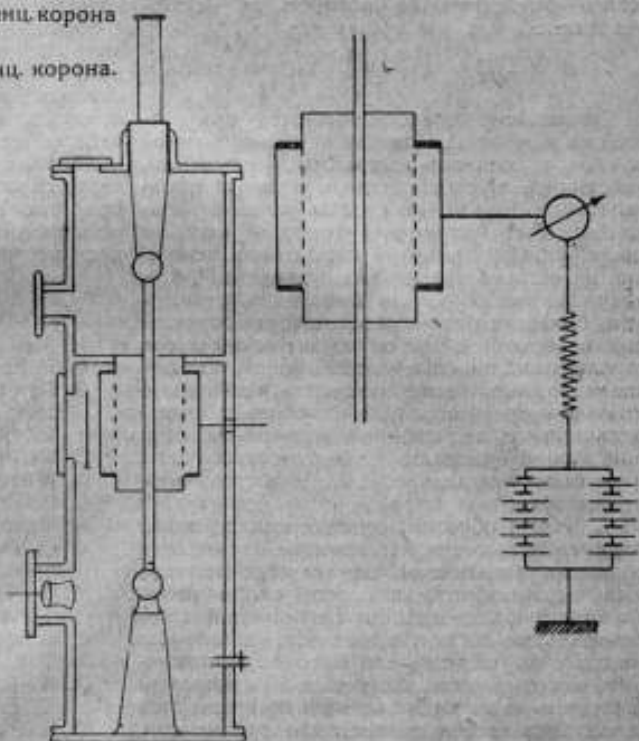


Рис. 5.

Таким образом, разрядное напряжение g , в киловольтах на см определится:

$$g_s = \frac{E_s}{l} f\left(\frac{l}{r}\right),$$

где E_s — напряжение между шарами в киловольтах, при котором происходит искровой разряд.

Многочисленные наблюдения многих исследователей и главным образом Schübb'a, Fortescue, Peek'a и его сотрудников, показали, что g_s для данных поверхностей шаров при соблюдении определенных предосторожностей практически можно считать постоянным и независимым от расстояний между шарами для расстояний в пределах $l = 0,54\sqrt{r}$ и $l = 2r$. Экспериментальные данные укладываются с точностью до 2% в эмпирическую формулу:

$$g_s = 27,2 \left(1 + \frac{0,54}{\sqrt{r}}\right) \text{ kv/см макс.}$$

$$g_s = 19,3 \left(1 + \frac{0,54}{\sqrt{r}}\right) \text{ kv/см действ.}$$

если приложенное напряжение синусоидально для воздуха при нормальном давлении и

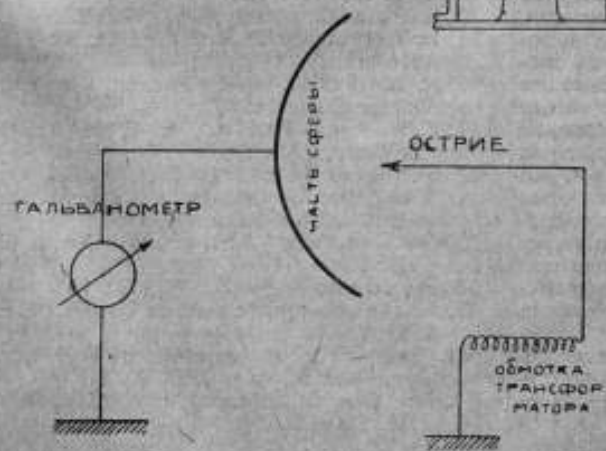


Рис. 7.

разряда в газах показывает, что величина $\frac{E}{r}$ отношения расстояния l между шарами и радиусом r шара является характерной величиной, определяющей собой возможность появления короны или искрового разряда при данной разности потенциалов между шарами. Градиент поля g у поверхности шара поперекнему будет наибольшим и может быть выражен: $g = \frac{e}{l} f\left(\frac{l}{r}\right)$ kv/см, если e — приложенное напряжение в кило-

25° С. Влияние плотности $\bar{\rho}$ воздуха учитывается также, как и при явлении короны, а именно, если $\bar{\rho}$ — относительная плотность, то исключая малые l и $\bar{\rho}$, для остальных:

$$g_s = 27,2 \bar{\rho} \left(1 + \frac{0,54}{\sqrt{r\bar{\rho}}} \right) \text{ kv./cm} \cdot \text{max}$$

Главнейшие предосторожности при подобных измерениях сводятся к тому, чтобы оба шара, если они изолированы от земли, находились в тождественных условиях, и разряд между ними не мог создать условий резонанса и были устранены утечки в виде ли тихих разрядов, явлений короны или истечения из остриев. Во избежание явлений резонанса необходимо в цепь разрядника включать большие безиндукционные сопротивления, которыми обычно служат стеклянные трубки, наполненные чистой водой. Соблюдая указанные предосторожности, необходимо иметь в виду, чтобы при измерениях с разрядником не происходило нарушение распределения градиента электрического поля и не было места вторичным и посторонним ионизациям.

7. Таким образом, существующие методы измерения высоких напряжений и высоковольтные вольтметры, основанные на них, имеют одну общую для всех особенность, характерную для подобных измерений. Особенность эта состоит в том, что, каким бы методом мы не измеряли высокое напряжение, достоверность полученных измерений и степень точности их всецело определяются тем электрическим полем и его градиентом, которое мы создаем между двумя равнопотенциальными поверхностями, разность потенциалов которых мы определяем. В таком поле с увеличением его напряжения может возникнуть не только простая ионизация или чисто электронный поток, но и вторичная ионизация и ионные потоки, которые не только изменяют градиент самого поля но и вносят новые распределения потенциалов вдоль всей цепи тока. Отсюда понятна необходимость контрольного измерения при любом способе, и таким контрольным измерением обыкновенно является измерение помощью шарового разрядника.

8. Рассмотренные методы измерения высоких напряжений намечают путь выбора эталона вольтметра высокого напряжения и эталонной установки для него.

Наиболее безупречным в отношении постоянства и точности измерения является, по нашему мнению, косвенный метод измерения с большим безиндукционным строго постоянным сопротивлением 10^{10} — 10^{15} омов; каковой разрабатывается в рентгенометрической лаборатории Главной Палаты мер и весов. Для контроля же состояния всей высоковольтной цепи и ее режима лучше всего выбрать наиболее простой индикатор, каковым является острие с зеркальным гальванометром (рис. 7) или другие свойства острия при неизменном условии работы его до тока насыщения.

Основная литература:

1. Thomson W. Phil. Mag. 1860. 20. 316.
2. Townsend I. S. Phil. Mag. 1903. 6. 598; 1906. 11. 729; 1913. 26. 730; 1914. 27. 789.
3. Walter, B. E.T.Z. 1904. 25. 874
4. Weicker W. ETZ. 1911. 32. 436.
5. P. Villard and H. Abraham. Comptes Rendus. 1911. 1200.
6. С. Усатый. Известия Полит. Института 1906.
7. A. Tschernischoff. Phys. Z. 1910. 11. 445.
8. Whitehead and Puffen. Proc. of. A. I. E. E. 1916. 795.
9. Whithead, and Isshiki J. A. I. E. E. 1920. 39. 441.
10. A. Palm. Z. f. tech. Phys. 1920. 7.
11. H. I. Ryan. Pr. A. I. E. E. 1911. 30. 1 и 1914. 33.
12. F. W. Peek. Diel. Phenom. in high Voltage Engen. 1920.
13. F. W. Peek. Proc. A. I. E. E. 1914 и 1915. El. World. 1921. Dec.
14. Schumann W. O. 1) Arch. f. El. XI. 1. 1922, 2) Electriche Durchbruchfeldstärke von Gasen. 1923.
15. Orlich und Schutze. Arch. f. El. 1912. 1.
16. Heyden. I. A. I. E. E. 1922. 852.
17. Fortescu and Schuller. Tr. of A. I. E. E. 1913. 739.
18. Everett, Edgeumbe Electr. Rev. London. 1922. 90. 47 и 1923. 92. 115.
19. Rev. Gen. El. 1922. t. XI; 1923. t. XIV; 1925. t. XVII.

НЕПРЕРЫВНОСТЬ РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА И ЭТАЛОН РАДИЯ.

Л. Н. Богоявленский.

Все употребляемые ныне методы измерения радия сводятся к измерениям энергии, которую непрерывно выделяют в огромных количествах радий и другие химические элементы с неустойчивыми атомами, обнаруживающие явление радиоактивного распада. Так как эта энергия в своих проявлениях является общей для всех членов радиоактивных рядов урана, актиния и тория, то при измерениях радия непременным условием является отсутствие других радиоэлементов и чистота препарата, которое достигается довольно легко в виду ярко выраженных свойств радия, являющегося химическим аналогом бария. Единственным радиоэлементом, отделение которого от радия не может быть достигнуто, является его изотоп мезоторий, присутствие которого в препаратах неизбежно, если исходным материалом служила руда содержащая торий. Однако, и количество мезотория может быть также определено в виду его очень короткого сравнительно с радием периода: все препараты радия, содержащие мезоторий, по истечении уже одного месяца показывают заметное понижение количества выделяемой энергии.

Радиоактивные изменения, которым подвержен радий, сопровождаются прежде всего выделением известного количества тепловой энергии. 1 грамм радия—металла в радиоактивном равновесии с продуктами его распада до радия С включительно выделяет 132,3 грамм-калорий в час. Общее распределение всей тепловой энергии от 1 грамма радия с продуктами его распада можно видеть из нижеследующей таблицы:

<i>Ra</i>	25,1	грамм-калорий в час.
<i>RaEm</i>	28,1	" " " "
<i>RaA</i>	30,0	" " " "
<i>RaB</i> 		
<i>RaC</i> 	49,1	" " " "

132,3 грамм-калорий в час.

Итак, о количестве радия в препарате, прежде всего, мы можем судить по количеству теплоты, которую он выделяет. Само собой разумеется, что присутствие мезотория всегда дает результаты, не соответствующие истинным.

Более интересными с метрологической точки зрения являются методы измерения

радия, использующие свойства его излучений давать световые эффекты на фосфоресцирующих экранах или ионизировать газы и делать их, таким образом, проводниками электричества. Степень ионизации газа прямо пропорциональна количеству радиоактивных излучений и, следовательно, силе препарата; измеряя ее при помощи электрометров, возможно судить о количестве радия и всех излучающих радиоэлементов.

Метод подсчета α -частиц основан на свойстве радия выбрасывать определенное количество α -частиц в единицу времени. По исследованиям Geiger'a Rutherford'a и других один грамм радия—металла выбрасывает около $3,4 \times 10^{10}$ α -частиц в секунду. Это число было определено экспериментально посредством подсчета сцинтилляций, т.е. световых эффектов происходящих при ударе α -частицы о кристалл сернистого цинка, изготовленного известным способом. Исходя из этой цифры, предполагается возможным судить о количестве радия в препарате, вес которого известен, подсчитывая число выбрасываемых им α -частиц в секунду.

И метод калориметрический и метод подсчета α -частиц являются оба неудовлетворительными, так как при употреблении первого, как бы ни было велико относительно количество теплоты выделяемой радием, измерить ее, все же, мы можем только при условии, если препарат содержит сравнительно много радия, что на практике не часто случается. При употреблении же метода подсчета α -частиц мы сталкиваемся, наоборот, с другою крайностью, так как подсчитать сцинтилляции можно только имея очень слабый препарат. Наиболее пригодными, таким образом, являются методы электрические, т.е. утилизирующие ионизирующие свойства радиоактивных излучений. Эти методы широко употребляются в современной лабораторной практике и утилизируют все излучения радия—как поглощаемые, так и проникающие. Если препарат запаян в ампулу, в которой остаются все продукты его распада, то по истечении месяца он достигает равновесного состояния, после чего излучение его становится постоянным и представляется возможность сравнивать его с излучением другого препарата содержащего определенное весовое количество соли радия.

Вопрос об установлении эталона радия обсуждался на Брюссельском Конгрессе Радиологии и Электричества в 1910 г., на котором было постановлено, что принимая во внимание свойства радия, эталоном его может служить некоторое определенное по весу количество соли радия, обладающей химической устойчивостью, запаянное в трубку из газонепроницаемого материала. Наиболее удобным соединением является обезвоженный хлористый радий, соответствующий формуле $RaCl_2$, заключенный в запаянную стеклянную ампулу из нормального стекла. С излучениями этого препарата могут сравниваться методом γ — лучей излучения других препаратов.

Избранная на Конгрессе „Комиссия по установлению Международного Эталона Радия“ собралась в 1912 г., причем были представлены несколькими авторами препараты безводного хлористого радия служившие для определения атомного веса этого элемента, т.е. свободные от бария.

Препарат	Колич. $RaCl_2$	Ампула			Описание
		Толщина стенок мм	Диаметр	Длина	
Curie	21,99	0,27	1,42	32	Основной международный эталон. Париж.
Hönigsmid	10,11	0,27	3,2	30	Запасной международный эталон. Вена.
	21,17	0,27	3,2	30	
Ramsay	40,43	0,27	3,2	30	Отвергнут.
	4,00				

Комиссия постановила считать основным международным эталоном препарат, представленный M-me Curie, и хранить его в Международном Бюро в Севре. Препарат 31,17 приготовленный Hönigsmid'em считать запасным международным эталоном и хранить его при Венской Академии Наук. Препарат Ramsay, как заключенный в толстостенную кварцевую трубку и представляющий поэтому большие неудобства для измерений, был Комиссией отвергнут. Как видно из таблицы, принятые препараты заключены в ампулы с одинаковой толщиной стенок (0,27 мм), диаметр же и длина ампулы различны.

В 1914 г. Rutherford и Boltwood изготовили стандартный препарат радия, который был ими изучен также тщательно как и международный. Приводим для сравнения радиоактивные константы этого эталона и эталона международного.

Так как радий, хоть и медленно, но постепенно распадается, следуя экспоненциальному закону, то следует принять во внимание дату изготовления эталона и радиоактивную постоянную радия, т.е. часть вещества, распадающаяся в определенный промежуток времени, и делать соответствующие поправки. Поэтому необходимо считать цифру основного эталона 21,99 мг безводного хлористого радия с 1912 года — когда он был изготовлен.

ристого радия с 1912 года — когда он был изготовлен.

	Эталон Rutherford и Boltwood	Международный эталон
Количество радия в равновесии с одним граммом урана	$3,4 \times 10^{-7}$	$3,23 \times 10^{-7}$
Количество тепла, образующегося в год от 1 грамма радия	196 мк ²	104 мк ²
Количество тепла, выделяемое в течение одного часа от одного грамма радия, в равновесии с продуктами его распада	—	134,7 калорий
Объем лижалоли от одного грамма радия в равновесии	0,0 мк ²	0,63 мк ²
Число α — частиц, выходящих в секунду 1 граммом радия без продуктов	$3,4 \times 10^{10}$	$3,57 \times 10^{10}$
То же с продуктами	$13,6 \times 10^{10}$	$14,3 \times 10^{10}$
Заряд, переносимый в секунду α — частицами от 1 грамма радия, в равновесии с продуктами	31,6 э.с.е.	33,2 э.с.е.
Полуживотный ток, равносильный α — частицам от 1 грамма радия без продуктов	$2,75 \times 10^8$	$2,89 \times 10^8$ э.с.е.
Заряд, переносимый в секунду β — частицами радия в равновесии с 1 граммом радия	$9,46 \times 10^6$	$9,94 \times 10^6$ э.с.е.
Вычисленный период радия	174 э.с.е. 1780 лет	183 э.с.е. 1830 лет

Атом радия, как и атом всякого радиоэлемента, подвержен действию радиоактивного распада. Этот распад характеризуется законом: скорость превращения, т.е. число превращающихся в единицу времени атомов, в каждый момент пропорциональна числу атомов, имеющих в наличности. Иначе говоря: распадающаяся в единицу времени часть не зависит от абсолютного числа атомов. Т.е. может быть применен закон мономолекулярных реакций выражающийся уравнением:

$$q = q_0 e^{-\lambda t}$$

где: q — количество вещества по истечении времени t , q_0 — количество существовавшее в момент времени $t = 0$ и λ — постоянная превращения, выражающая часть вещества, распадающуюся в единицу времени.

Если вещество преобразуется наполовину, то надо положить $t = T$ и $\frac{q}{q_0} = 0,5$:

$$0,5 = e^{-\lambda T}$$

Логарифмируя и производя все действия, находим в окончательном виде следующую зависимость между λ и T :

$$\frac{\lambda}{T} = T \frac{\log e}{\log 2} = 1,443 \times T$$

$\frac{1}{\lambda}$ — называют средней продолжительностью жизни радиоэлемента и T — периодом полураспада.

Определение этих констант является существенно важным при изучении свойств радиоэлементов. Это определение может быть произведено или прямым, или косвенным путем.

Если в нашем распоряжении имеется радиоэлемент, выделенный вместе с какими-нибудь обычным химическим элементом, то в некоторых случаях мы можем посредством непосредственного наблюдения изучить уменьшение интенсивности его излучения и отметить промежуток времени, течение которого эта интенсивность уменьшилась в два раза по сравнению с первоначальной. Этот промежуток времени и дает нам величину периода полураспада, откуда легко вычислить и постоянную превращения λ , пользуясь вышеприведенным соотношением. Естественно, что этот безусловно не возбуждающий никаких сомнений метод может быть применен только к радиоэлементам с периодом удобным для наблюдений, т. е. не слишком большим, каковыми, например, являются эманация радия ($T = 3,85$ дня) и полоний ($T = 135,6$ дня).

Подсчитывая число α -частиц, выбрасываемых 1 граммом α -излучающего радиоэлемента в единицу времени, мы можем судить о количестве распадающихся в это время атомов, так как α -частица есть не что иное, как положительно заряженный атом гелия.

Один атом радия без продуктов выбрасывает в секунду $\lambda \alpha$ -частиц. Если допустить, что один атом радия при разрушении выбрасывает одну α -частицу, то и число разрушившихся атомов радия будет λ .

Если обозначить N — число атомов радия в одном грамме, то радиоактивная постоянная $\lambda = \frac{n}{N}$ в секунду. Число N для водорода определено и равно $6,2 \times 10^{23}$ атомов. Для радия же, принимая его атомный вес равным 226, будем иметь:

$$N = \frac{6,2 \times 10^{23}}{226} = 2,73 \times 10^{21}$$

Для λ , т. е. числа атомов разрушающихся в секунду, Rutherford дает значение $3,4 \times 10^{10}$, откуда вычисляем:

$$\lambda = 1,25 \times 10^{-11} \text{ в секунду или } 3,94 \times 10^{-4} \text{ в год и } T = 1760 \text{ лет.}$$

Метод подсчета α -частиц, естественно, может быть применен по отношению лишь к тем α -излучающим радиоэлементам, атомный вес которых известен и надо заметить, что он является почти единственным, который мог быть применен к радю. К сожалению, в виду самой трудности выполнения подсчета, практическое его применение является далеко не совершенным, что можно

видеть из некоторых результатов, полученных различными авторами:

	T	λ
Rutherford	1760 лет	$3,94 \times 10^{-4}$ в год
Hönigsmidt	1850 "	$3,75 \times 10^{-4}$ "
Soddy	1695 "	$4,08 \times 10^{-4}$ "
Fajence	1580 "	$4,38 \times 10^{-4}$ "
Friedheim (Handb. d. Chimie Inorg.)	1100 "	$6,30 \times 10^{-4}$ "

Как видно из этой таблицы, числа, которые дают авторы, будучи одного и того же порядка, все же, значительно разнятся друг от друга.

Boltwood, вычисляя период радия исходя из иных соображений. Он наблюдал скорость образования радия в растворе ближайшего из его предков — иония и, исходя из этой скорости, заключил, что период его равен 2000 лет и $\lambda = 3,48 \times 10^{-4}$ в год.

Приводим данные некоторых авторов¹⁾ вычислявших период радия этим методом:

	T
Boltwood	2000 лет
Gleditsch	1640—1836 лет
Kutman	1800 лет
St. Meyer и Schweidler	1730 "

Также не совсем благополучно обстоит дело с определением периода радиоэлементов, распадающихся настолько быстро, что это могло быть сделано при помощи непосредственного наблюдения.

Так, для эманации радия мы имеем следующие данные:

1902 г. Piёre Curie	3,99 дня
1903 " Rutherford и Soddy	3,71 "
1904 " Bumstead и Wheeler	3,88 "
1905 " Mache и Meyer	3,89 "
1905 " Sackur	3,86 "
1907 " Rümelin	3,75 "
1910 " M-me Curie	3,85 "
1911 " Rutherford	3,846 " ²⁾
1925 " M-lle Irène Curie	3,823 " ³⁾

И еще хуже для полония:

1904—1906 г. St. Meyer и Schweidler	138,2 дня
" " " " " "	134,5 "
" " " " " "	136,5 "
" " " " " "	138,9 "
1905 " Rutherford	143,00 "
1905 " Marckwald	139,6 "
1906 " M-me Curie	140,0 "
1910 " Waters	148,0 "
1911 " Regener	136,0 "
1912 " Schweidler	136,5 "
1913 " Girard	135,6 " ⁴⁾

¹⁾ St. Meyer und Schweidler. Radioaktivität. 1916, p. 319.

²⁾ St. Meyer und Schweidler. Radioaktivität. 1916, p. 332.

³⁾ Journ. de Physique. 5, 1924.

⁴⁾ St. Meyer und Schweidler. Radioaktivität. 1916, p. 361.

Весьма важным для определения радиоактивных констант α —излучающих радиоэлементов является закон Geiger'a и Nutall'a, в котором выражается зависимость между пробегом α —частиц и периодом радиоэлемента. Можно видеть, что пробег α —частицы возрастает с уменьшением периода радиоэлемента. Если нанести для ряда уран—радий логарифмы пробега по оси абсцисс и логарифмы периода—по оси ординат, то все члены семейства уран—радий расположатся на одной прямой.

Итак, из вышеизложенного следует, что два условия необходимы для того, чтобы можно было пользоваться, как эталоном радия, навеской хлористого радия хранящейся в Международном Бюро мер и весов—именно: во-первых, чтобы процесс дезинтеграции радия был непрерывным и, следовательно, радиоактивная константа радия была неизменяющейся величиной в течение промежутка времени сколь угодно большого и, во-вторых, чтобы численное значение этой константы было точно определено. Как бы ни была мала ее величина, необходимо считаться с тем, что каждый год из одного грамма радия (если принять цифру Rutherford'a), разрушается 0,394 миллиграмма, т.е. почти 0,04%. Относительно первого условия можно сказать, что до сих пор оно опытом не было подтверждено и правильно лишь теоретически. Непосредственно удавалось наблюдать периоды элементов только с короткой продолжительностью жизни, как, например, эманации радия, ближайших продуктов его распада RaA , RaB и RaC , полония и т. п. Определение же радиоактивной постоянной косвенными методами, как мы видели раньше, дает числа колеблющиеся в довольно широких пределах, что заставляет предполагать, что причина этого кроется не только в ошибках наблюдения, но и в самой природе радиоактивного распада.

Если мы не имеем возможности измерить непосредственным наблюдением величину периода радия, то существуют в природе весьма древние его соединения, в которых, оказывается, этот элемент находится в определенных соотношениях к своему прародителю урану, из чего можно сделать весьма важные выводы.

Если имеется в наличии ряд последовательных радиоактивных превращений, как это видно из ряда урана, например:



то, вследствие того, что каждый элемент обладает своим собственным периодом, через определенный промежуток времени (в данном случае весьма большой) убыль каждого звена будет непрерывно пополняться за счет каждого предыдущего звена и система достигнет так называемого радиоактивного равновесия. Легко видеть, что в этом случае:

$$P_{U_1} = G_{U_1} = R_{U_1} = \dots$$

где P, G, R, \dots количества радиоэлементов образующихся при достижении равновесия и $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots$ радиоактивные постоянные этих элементов.

Действительно, многочисленные анализы урановых минералов достаточно древних и не подвергшихся действию агентов разрушения, последствием чего могло бы произойти удаление тех или иных элементов, показали, что существует почти постоянное соотношение между ураном и радием—именно, одному грамму урана соответствует $3,4 \times 10^{-7}$ г радия. На основании этих данных и был определен период урана в $4,5 \times 10^9$ лет.

По вычислениям Rutherford'a радиоактивное равновесие достигается в минерале в возрасте от двух до десяти миллионов лет и, следовательно, если в минерале на 1 грамм урана приходится $3,4 \times 10^{-7}$ грамма радия, то это должно служить указанием, что минерал достиг указанного возраста.

Многочисленные определения этого числа, сделанные со всевозможной тщательностью, все же показывают, что в древних неизменных минералах это соотношение является постоянным лишь приблизительно и в действительности колеблется в пределах от 3,21 до $3,74 \times 10^{-7}$. Оно значительно падает (до $1,82 \times 10^{-7}$) в новообразованных вторичных минералах, как, например, хальколите, карнотите, отените и т. п., так как это минералы сравнительно молодые и образовались за счет первичных более древнего происхождения. Подсчет возраста минералов, на основании отношения радия к урану, а также находящихся в этих минералах конечных устойчивых продуктов дезинтеграции—свинца и гелия к урану—дает заманчивые перспективы в смысле определения возраста не только минералов, но и целых геологических эпох. В последнее время многие геологи занимаются вычислением возраста эпох, основываясь на законах радиоактивного распада. Эти вычисления могли бы иметь под собой твердую почву лишь в том только случае, если является доказанной непрерывность этого распада. А мы видели раньше, что периоды радиоэлементов точно определялись только в случаях, доступных нашему наблюдению, при чем и здесь у различных авторов замечаются значительные отклонения.

Весьма интересным примером, указывающим на сомнительность этих вычислений геологических эпох, основанных на огромных мало доступных нашему воображению цифрах, может послужить минерал тюя-мунит из Ферганской области, представляющий из себя урано-ванадат кальция и, следовательно, родственный по своему химическому составу американским карнотитом, в котором кальций замещен калием. Тюя-мунит есть вторичный минерал, образованный из водных растворов. Благодаря способности урана легко переноситься с углекислыми растворами, этот минерал образуется необыкновенно быстро, что подтверждается крайне

интересными наблюдениями экспедиции проф. А. Н. Заварицкого в 1923 г., которая нашла налеты тюрк-мунита на костях басмача, убитого во время гражданской войны, следовательно, всего несколько лет тому назад. К сожалению, этих пленок было слишком мало для анализа, но все анализы тюрк-мунита из корок в пещере, произведенные Государственным Радиевым Институтом, указывают на достижение на 90% равновесия в этом минерале, что предполагает его возраст в несколько миллионов лет. Согласиться с этой цифрой ни в коем случае нельзя, даже просто исходя из того соображения, что сам по себе урано-ванадат кальция в условиях залегания в земной коре является мало устойчивым соединением, которое легко разрушается, особенно в присутствии угольной кислоты, и, следовательно, невозможно предположить, чтобы минерал смог просуществовать в неизменном виде в течение этого огромного промежутка времени.

Следовательно, для объяснения этого постоянства отношения радия к урану в тюрк-муните остается предположить: или, что выпадение из раствора урана и радия происходило в определенном соотношении, соответствующем радиоактивному равновесию, или же, что радиоактивное равновесие произошло гораздо ранее срока предвизанного теорией. Первое нам кажется мало вероятным вследствие слишком резко выраженного отличия химических свойств урана и радия. Второе же зависит всецело от правильности гипотезы непрерывности явления радиоактивного распада.

Изучение явления, несомненно связанного с явлением радиоактивности и имеющего в электрометеорологии довольно определенное название „проникающей радиации земли“, также вызывает сомнения в непрерывности радиоактивного распада. Излучения радиоэлементов и способность их поглощаться материей достаточно хорошо изучены. Наиболее проникающие из них γ -лучи способны все же сравнительно легко поглощаться экранами из свинца или другого вещества. Земля непрерывно испускает ионизирующие воздух излучения, часть которых, несомненно, может быть отнесена за счет испускаемых радиоактивными телами, заключающимися в верхних слоях земной коры в пунктах, над которыми производятся измерения, так как, судя по способности этих излучений поглощаться материей, они должны быть отнесены к γ -лучам. Но большая часть этих излучений обладает огромными проникающими свойствами, превышающими самые жесткие γ -лучи, почему и получила название проникающей радиации земли.

Причина этого явления недостаточно хорошо выяснена, несмотря на то, что оно должно находиться, несомненно, в связи с радиоактивностью. Чтобы доказать это, достаточно выяснить связь напряжения про-

никающей радиации с количеством радиоэлементов, заключающимся в данном пункте земной коры. Нам удалось показать¹⁾ на опытах с измерением проникающей радиации над местами, богатыми содержанием радия, что напряжение ее меняется точно в зависимости от степени концентрации радия, при чем в некоторых местах наблюдалось излучение настолько большой проникающей способности, что оно заметно не поглощалось свинцовыми фильтрами толщиной в 1 см.²⁾

Известно, кроме того, уже давно, что минимум напряжения проникающей радиации наблюдался всегда над поверхностью океанов, вода которых содержит ничтожные, сравнительно, количества радиоактивных тел.

С другой стороны, проникающая радиация не является постоянной величиной в одной и той же точке земной коры. Помимо того, что радиация значительно меняется в различных пунктах в зависимости от степени концентрации радиоактивных тел, были отмечены колебания ее напряжения также и в одном и том же месте. За это говорят нам данные записей регистрирующих приборов при физических наблюдениях, по которым можно наблюдать суточный и годовой ход. Насколько можно видеть из наблюдений Павловской Физической Обсерватории, правильность этого хода часто нарушается вследствие каких-то неизвестных причин, повидимому, космического характера. Так, наблюдается периодический максимум в августе, что совпадает с августовским метеорным потоком (персеид). Кроме того, наблюдаются и другие повышения, повидимому, также находящиеся в связи с космическими явлениями того же характера. Весьма интересные наблюдения, к сожалению не систематического характера, были сделаны во время прохождения кометы Галлея через земную атмосферу в мае 1910 г. А. Томпсон³⁾ нашел повышение напряжения проникающей радиации с 30 до 120 ионов. W. I. G. and G.⁴⁾ разработал целый ряд наблюдений, касающихся состояния в этот момент атмосферного электричества, из которых видно, что повсюду замечалось сильное повышение проводимости и ионизации воздуха. Объяснение этого явления метеорологи искали в появлении в атмосфере земли космической пыли, богатой содержанием радиоактивных тел, которые и повышали, таким образом, ионизацию воздуха. Но эта гипотеза, предложенная Linkе, нам кажется мало вероятной, ибо определение содержания радия в метеорах дает цифры порядка содержания

¹⁾ Известия Института Прикладной Геофизики. Вып. 1. 1925.

²⁾ Опыты 1927 г. со свинцовыми экранами до 8 см показали существование излучений с коэффициентом поглощения слишком $\mu = 0.05 \text{ см}^{-1}$, т.е. в 12 раз более жестким, чем γ -лучи радия С.

³⁾ Phys. Rev. 32, p. 343. 1911.

⁴⁾ Phys. Zeit. 18, p. 1. 1917.

го в земных породах, и даже скорее пониженные. Так, по данным Holm's¹⁾ на 1 г породы содержат:

1. Магматические породы.	
Кислые	$2,7 - 3,1 \times 10^{-12}$ г радия
Промежуточные	$1,9 - 2,1 \times 10^{-12}$ " "
Основные	$0,9 - 1,1 \times 10^{-12}$ " "
Ультр-основные	$0,5 \times 10^{-12}$ " "
2. Осадочные породы.	
Глинистые	$1,5 \times 10^{-12}$ г радия
Песчаные	$1,4 \times 10^{-12}$ " "
Известковые	$0,9 \times 10^{-12}$ " "
3. Метеориты.	
Каменные	$0,25 \times 10^{-12}$ г радия
Железо-каменные	$0,10 \times 10^{-12}$ " "
Глинистые	$0,00 \times 10^{-12}$ " "

Но если, как мы уже упомянули выше, напряжение проникающей радиации находится в зависимости от концентрации радиоэлементов в данном пункте земной коры, которые и будут ее причиной, то колебания напряжения в одном и том же пункте могут быть объяснены только нарушениями в процессе самого радиоактивного распада. И если эти нарушения существуют, то приходится изменить общепринятую гипотезу причины радиоактивного распада.

Вопрос о том, где находится тот источник энергии, которая производит распад атома урана, тория, радия и т. п., возник тотчас же после открытия явления радиоактивности. Этот распад может совершаться или вследствие того, что из атом радиоэлемента действует какая-то неизвестная сила извне, вследствие чего он выходит из положения устойчивого равновесия, или же вследствие того, что атом сам по себе является носителем свободной энергии. Первое предположение, высказанное еще P. Curie²⁾, вскоре было оставлено на том основании, что не было фактов ни за, ни против, и обычно принималось второе, хотя никаких доказательств его не имелось также.

В 1919 г. J. Perrin³⁾ приходит к выводу, что всякая химическая реакция может быть вызвана лучистой энергией. Радиоактивная же трансмутация может рассматриваться, как мономолекулярная реакция, которая может быть вызвана подходящей радиацией, сообщаемой необходимую энергию для распада атома. Радиация эта может быть только чрезвычайно большой частоты, так как мы ее не можем обнаружить ни при помощи фотографической пластинки, ни при помощи электроскопа. С другой стороны, эта радиация должна обладать настолько большой проникающей способностью, что она легко про-

ходит через стенки из любого вещества. Эти гипотетические лучи, которые Perrin называет ультра-рентгеновыми лучами или ультра-ислучами, возбуждающие распад радиоактивного атома, могут исходить и от солнца, и от земли, и проникающая их способность настолько велика, что обнаружить их присутствие мы не в состоянии.

Если мы представим атомное ядро в стационарном состоянии и если это состояние устойчиво, то ядро может быть выведено из него в критическое состояние только при помощи кванта колоссальной величины и чрезвычайно большой частоты, отвечающей ультра-рентгеновым лучам. J. Perrin называет этот переход радиоактивностью первого порядка или эндотермической. Атом в критическом состоянии может даже после некоторого периода жизни подвергнуться самопроизвольной эволюции и перейти из этого состояния в другое—более устойчивое, с меньшим запасом энергии, но которое может быть опять критическим. Это—радиоактивность второго рода или экзотермическая.

Можно предположить, что в мировом пространстве происходит образование атомов элементов из более легких в более тяжелые и распад более тяжелых атомов в более легкие. В туманностях и звездах тяжелые атомы отсутствуют и там происходит уплотнение водорода в более тяжелые атомы с испусканием ультра-рентгеновых лучей. Энергия, необходимая для этих эндотермических процессов, может получаться от радиации солнца. На поверхности земли уплотнения уже не происходит, но тяжелые атомы могут распадаться. Распад этот совершается при посредстве ультра-рентгеновых лучей. Так как гелий более устойчив, чем водород, то эволюция материи, совершающаяся в направлении уменьшения внутренней энергии, будет идти: водород—гелий. Если на солнце происходит процессы конденсации водорода в гелий, то энергии, выделяемой при этой конденсации, хватило бы на сотни миллиардов лет.

Можно предположить, таким образом, что распад тяжелых атомов и радиоактивные процессы на поверхности земли совершаются под воздействием ультра-рентгеновых лучей, которые приводят атомы в критическое состояние, сообщая ему квант энергии огромной величины. А так как ультра-рентгеновые лучи главным образом, повидимому, космического происхождения, то приходится рассматривать и радиоактивность с этой точки зрения. Если допустить непрерывность процесса распада, то необходимо также допустить и непрерывность процесса снабжения энергией, необходимой для этого распада, чего мы никак не можем сделать. Непрерывность возможна и она, несомненно, существует, но не в пределах времени сколько угодно большого, почему все экстраполяции, основанные на этом законе, становятся сомнительными.

У нас существуют магнитные и электрометеорологические обсерватории, изучающие колебания земного магнетизма и колебания

¹⁾ A. Holmes, Proc. Geol. Ass. 26, 289, 1915. Geol. Mag. (6) 2, 60, 102, 1915.

²⁾ M. Curie, Traité de radioactivité.

³⁾ J. Perrin, Annales de Physique, 1919.

проникающей радиации земли. Но у нас совершенно отсутствуют правильно организованные систематические наблюдения над интенсивностью радиоактивности радия. А иметь кривую напряжения радиации радия в течение возможно долгого срока времени является безусловно необходимым, так как только эта кривая может дать полную историю радиоактивного препарата и показать, насколько является правильным общепринятое положение о непрерывности распада, которое лежит в основе измерений радия.

До сих пор измерения радия производились только путем сравнения запазынных препаратов радия с эталоном, а не абсолютными методами, почему изменений напряжения радиации радия заметить мы не могли. Ясно, что при таких условиях цифры могут быть правильными лишь по отношению к тем препаратам, которые были приготовлены одновременно с эталоном, так как только в этом случае они испытали одинаковые с ним превращения во времени.

Как мы указали выше, период полураспада был определен с очень большой приближенностью непосредственным наблюдением только в случае радиоэлементов с короткой продолжительностью жизни. В отношении же радия определение константы делалось посредством наблюдения скорости выбрасывания α -частиц. С какой точностью были сделаны эти определения—мы видели. Если принять гипотезу Р е r r i 'а, то этот факт становится объяснимым, так как более, чем вероятно, что причина здесь кроется не только в ошибках наблюдения, но и в том, что в любой момент радий выбрасывает α -частицы не с одинаковой скоростью и что эта скорость зависит от количества энергии, которую получает атом, чтобы перейти в критическое состояние.

Определение возраста минералов опять-таки базируется на том же недоказанном принципе непрерывности радиоактивного распада. Как мы видели выше, предполагается, что минерал достиг радиоактивного равновесия и возрасте около 10 миллионов лет, если отношение радия к урану в нем равно $3,4 \times 10^{-7}$. Но это отношение остается правильным также и в том случае, если мы допустим, что радиоактивная постоянная каждого члена ряда выражается не абсолютным числом, а отношением скорости распада каждого члена к какому-нибудь одному, принятому за единицу. Другими словами, с уверенностью мы можем только сказать, что распад эманции радия совершается во столько-то раз быстрее радия, во столько-то раз быстрее полония и т. д. Энергия, благодаря которой радиоактивный атом переходит в критическое состояние, действует в одинаковой степени на весь ряд элементов, находящихся между собой в генетической связи и, если бы количество ее увеличилось вдвое, то и распад всей системы совершался бы вдвое скорее. Сделав это допущение, становится вполне понятным, почему в состоянии радиоактивного равновесия количества всех членов ряда должны находиться между собой

в определенных соотношениях. Но мы никоим образом не можем определить, хотя бы даже приблизительно, промежуток времени, по истечении которого это равновесие наступит, и становится совершенно бессмысленным делать заключения о возрасте минералов и геологических эпох, раз мы не знаем законов, по которым происходит снабжение нашей планеты энергией, необходимой для возникновения процессов радиоактивного распада.

Если принять (на что у нас имеются достаточные экспериментальные данные), что проникающая радиация земли находится в связи с радиоактивным распадом атомов тяжелых элементов земной коры, то колебания ее и зависимость от причин космического характера опять-таки указывают на существование внешнего источника радиации-возбудительницы. Этот источник может приближаться к нашей планете или удаляться от нее, а также может испускать энергию неравномерно, следуя квантовому закону. Вероятно, происходит и то и другое одновременно, вследствие чего общий комплекс явлений должен быть необычайно сложен. Такие моменты, как прохождение кометы Г а л л е я через земную атмосферу, могут происходить не так уж редко, а они, несомненно, должны оказывать влияние на скорость радиоактивного распада. В 1910 г. повышение напряжения проникающей радиации земли наблюдалось весьма многими исследователями, но, к сожалению, никто не делал подсчета числа α -частиц в секунду, выбрасываемых в этот момент одним граммом радия и, быть может, в этот момент это число увеличилось в несколько раз. Измерения радия делались, но, так как они производились только путем сравнения с эталонными ампулами, то заметить, что радий жил в эти моменты гораздо интенсивнее, мы, естественно, не могли. Вероятно, во столько же раз в эти моменты интенсивнее прожили и все природные соединения радиоэлементов, находящиеся в земной коре.

В позднейшей литературе уже начинают проскальзывать факты, заставляющие еще более критически относиться к установившемуся мнению о непрерывности радиоактивного распада.

В 1924 г. L e B e l¹⁾ поставил в погребе глубиной 20 метров, где температура была постоянной, два самоионущие прибора для регистрации количества теплоты, выделяемой 10 мг. бромистого радия. В течение одного только месяца кривая записки показала уже два раза минимумы, точно совпадающие для обоих приборов во времени. Автор высказывает предположение, что это явление теллургического характера и не зависит от структуры земной коры, т. е., что существует какая-то внешняя причина, влияющая на скорость распада радия.

G a c h l e r²⁾ в период времени с 1922—1925 г. производил опыты с трансмутацией

¹⁾ C. R. t. 179. № 3, 21 juillet. 1924.

²⁾ Nature. 12 sept. 1925. Journ. for. Appl. Chemistry № 32. 1924.

ртути под влиянием сильного электрического разряда, подобные тем, которые делались Miethе. После опытов со ртутью он взял окись урана, в который предварительно был дозирован ближайший продукт распада урана — уран-Х. После продолжительного действия сильного электрического разряда оказалось, что при этих условиях образование урана-Х шло в 20 раз скорее нормального. Т.-е. оказывается, что существуют условия, которые мы можем создать, чтобы повлиять на скорость процесса радиоактивного распада.

Итак, исходя из вышензложенного, мы можем сказать, что навеска хлористого радия, запаянная в стеклянную ампулу и хранящаяся в Севре, только тогда будет эталоном, если нам известны все изменения, которые она претерпела с момента ее приготовления, т.-е., другими словами, если нам известна кривая изменения радиоактивности радия во времени. Только применение этой кривой даст нам возможность судить об истинном количестве радия в эталоне для каждого момента времени и, следовательно, о величине поправки, которую следует вводить при измерениях.

Здесь мы должны отметить связь метрологии радия с геофизикой. Позднейшими работами Ahmad'a из лаборатории Rutherford's¹⁾ в Кембридже устанавливается наличие у радия С необычайно сильно прони-

кающих γ -лучей. Еще более проникающие излучения наблюдал Millikan²⁾ на высокой горе, которым он приписывает космическое происхождение. Частота этого проникающего излучения ($\nu = 7 \times 10^{21}$) как раз соответствует частоте ультра-рентгеновых лучей Perrin'a, которую он вычислял, исходя из энергии образования гелия из водорода. Все эти опыты³⁾ указывают на существование каких-то внешних причин, воздействующих на радиоактивный распад радия, и которые, быть может, находятся в недрах нашей планеты, где, вероятно, протекают процессы уплотнения легких атомов в тяжелые.

Одним из существенно важных путей, которыми надо идти, чтобы выяснить природу радиоактивного распада атома, должно быть изучение сильно проникающих излучений наблюдаемых близ поверхности земли. Physi. kalich Technische Reichsanstalt, повидимому, уже стало на этот путь и работы в этом направлении ведутся германским геофизиком Kolhörster'ом⁴⁾.

¹⁾ Nature, 5 december 1925.

²⁾ В последнее время существование сильно проникающих излучений у радия было доказано также Hoffmann'ом. Ann. d. Phys. 16, 1926.

³⁾ Zeitschrift für Instrumentenkunde Mai 1925 d. 235.

⁴⁾ Proc. Roy. Soc. vol. 109, september 1925.

Table des matières

de la 2 (14) partie de Wrémennik (Annales) de la Chambre Centrale des poids et mesures.

M. F. Malikoff. Les étalons fondamentaux et leurs copies principales appartenant à la Chambre Centrale des poids et mesures de l'URSS. pp. 3—21.

1. **La longueur.** Etalon fondamental du mètre. La copie du mètre international en platine iridié, portant la marque № 28, transmise à la Russie en 1889 par la Première Conférence générale des poids et mesures.

2. Etalon combiné du mètre, yard et archine. La demisagène en platine iridié № 4, décrite en Wrémennik, 1 (13) partie, pp. 10—40, 1925.

3. Copie fondamentale du mètre et archine. La copie en nickel du mètre international, portant la marque: „Les armes du gouvernement de Moscou 1901“ avec la copie gravée en taille de l'archine, décrite en Wrémennik, 6-me partie, pp. 95—96, 1903.

4. **La masse.** Etalon fondamental du kilogramme. La copie en platine iridié du kilogramme international, portant la marque № 12 et transmise à la Russie en 1889 par la Première Conférence générale des poids et mesures.

5. Copie principale du kilogramme en platine iridié, construite par Oertling, ayant la marque R_1 ^{Plr} et décrite en Wrémennik, 1-re partie, pp. 91—92, 1894.

6. **Le temps.** Etalon fondamental de l'heure. L'unité de temps—la seconde et l'heure absolue sont assurées par les pendules normales, qui remplissent la fonction d'étalon de l'heure. Cet étalon est formé du groupe de quatre pendules garde-temps: a) pendule sidérale de Riefler № 67, b) pendule moyenne de Riefler № 68, c) pendule sidérale de Riefler № 81 et d) pendule moyenne de Riefler № 86. Les corrections des pendules se déterminent à l'aide des observations astronomiques de 10—12 étoiles de l'heure et de 3—4 étoiles circumpolaires dans leur culmination supérieure et inférieure.

Pour obtenir l'heure de Greenwich on se sert de la signification de la longitude de la Chambre Centrale: $\lambda = 2^{\circ} 1^m 45^s, 955$ E de Greenwich.

La description des pendules, la recherche de leur marche absolue, les méthodes de l'établissement et du maintien de l'heure exacte sont publiées en Wrémennik, 1 (13) partie, pp. 41—119, 1925.

7. **La température.** Etalon fondamental de l'échelle du thermomètre international à hydrogène. Le thermomètre à hydrogène, construit en 1894 par l'atelier de Goletz à Paris, étudié dans les limites de 0° jusqu'à 100° à la Chambre Centrale des poids et mesures en 1897—98 et décrit en Wrémennik, 4-me partie, pp. 57—80, 1899.

8. Etalon fondamental du laboratoire thermométrique pour les températures de 0° à 100° C. Le thermomètre de Tonnelot № 4532, étudié au Bureau international des poids et mesures en 1887 et muni d'un certificat du Bureau international.

9. Etalon fondamental du laboratoire thermométrique pour les températures de 0° à 700° C. Deux thermomètres en platine type de compensation, désignés par numéros: CSI 2247 et CSI 2382, acquis en 1912 chez la Cambridge scientific instruments Company et décrits ici, pp. 99—94.

10. **La résistance électrique.** Etalon fondamental de l'ohm international. Le groupe de six étalons mercuriels de l'ohm international, construits en 1909—1913 conformément à la spécification de la Conférence internationale sur les unités et étalons, tenue en Londres en 1908 et décrits en Wrémennik, 12-me partie, pp. 1—216, 1918.

11. Copies principales de l'ohm international. Deux bobines de manganine, fournies par O. Wolff en 1908, désignées par numéros: M 4044 et M 4046.

12. **La force électromotrice.** Etalon fondamental du volt international. Le groupe de vingt éléments normaux de Weston, préparés en 1910 conformément à la spécification de la Conférence internationale sur les unités et étalons en 1908 et décrits en Wrémennik, 13-me partie, pp. 130—156, 1925.

13. **L'intensité lumineuse.** Etalon fondamental de la bougie internationale. La réunion de 24 vacuum-lampes électriques à incandescence, consistant de deux groupes:

a) Le premier groupe (anglais) consistant de 12 lampes, ayant l'indication de 1—A—1 à 1—A—12, fournies par la fabrique „Osram“ de The General Electric Co (en Angleterre), et muni du certificat du National Physical Laboratory du 14 janvier 1925.

b) Le second groupe (français) consistant de 6 lampes, ayant l'indication de 1—Ф—1 à 1—Ф—6 et fournies par le Laboratoire Central d'Electricité, et de 6 lampes ayant l'indication de 1—Г—1 à 1—Г—6 et fournies par la fabrique „Osram“ G. m. b. H. Kommanditgesellschaft (en

Allemagne), muni d'un certificat du Laboratoire Central d'Electricité du 18-30 janvier 1924 et de celui du National Physical Laboratory du 12 mars 1924.

Cet étalon est décrit ici, pp. 160-194.

2. A. N. Dobrokhoff. Le poid d'un litre d'air. pp. 22-28.

Dans toutes les comparaisons des étalons de masse et leurs copies la Chambre Centrale des poids et mesures pour la réduction des pesées au vide a adopté le poid d'un litre d'air ramené aux conditions normales égale à 1,29455 g. Ce nombre a été déduit par D. I. Mendeléeff des observations de Regnault, Jolly, Leduc et Rayleigh („Wrémennik" 1894, p. 1, pp. 57-88). Le Mémoire de prof. A. Leduc „La masse du litre d'air dans les conditions normales" (Travaux et mémoires du Bureau International des poids et mesures, t. XVI, 1917) et les données nouvelles sur la valeur précise de l'accélération de la pesanteur pour la Chambre Centrale autorisent de modifier le nombre ci-dessus et d'adopter pour les travaux de la Chambre Centrale une nouvelle valeur de poid d'un litre d'air. En partant du nombre trouvé par M. A. Leduc dans les conditions du Laboratoire de l'Université de Paris et en acceptant pour l'accélération de la pesanteur dans la Ch. C. le nombre $9,8193 \text{ m/sec}^2$ on trouve le poid d'un litre d'air desséché et dépouillé de CO_2 dans les conditions normales:

$$E_0 = 1,29447 \text{ g.}$$

Tenant compte de 0,04% de l'anhydride carbonique contenu dans l'air du laboratoire de la Ch. C. il faut pour le calcul du poid d'un litre d'air dans les conditions des pesées partir de la valeur suivante:

$$E_v = 1,29474 \text{ g.}$$

3. N. M. Egoroff. Sur la sensibilité de la balance à bras égaux. pp. 29-31.

L'auteur propose d'accepter la définition de la sensibilité μ d'une balance ordinaire à bras égaux d'après la formule suivante:

$$\mu = \frac{P+Q}{p \cdot \frac{h}{1, dtv}}$$

où p est la valeur de la surcharge qui produit (sous la portée P) le déplacement de l'extrémité de l'aiguille = 1 division, Q —le poid du fléau, h —la longueur de l'aiguille. Cette définition permet d'éviter beaucoup de défauts communs à la définition ordinaire et d'établir en même temps une échelle exacte de la sensibilité pour toutes les balances à bras égaux et pour les portées diverses.

Si la valeur p n'est pas déterminée, on peut obtenir le même μ par la formule:

$$\mu = \frac{P+Q}{Qs - Pl} \cdot l$$

dans laquelle: s est la distance entre l'arête du couteau central et le centre de gravité du fléau, f —la flèche de la flexion du fléau, l —la distance du couteau central à chacun des couteaux d'extrémité.

N. I. Adamovitch. Les comparaisons des étalons géodésiques G14 (0-3) m et g22 (1-1000) mm, exécutées par la Chambre Centrale des Poids et Mesures. pp. 32-47.

Les étalons G14 et g22 appartiennent à la collection des 12 règles à traits que le Gouvernement russe a acheté en 1907 pour les besoins du Service Géodésique. Tous ces étalons ont été établis par la Coopération de la Société de Commeny-Fourchambault et Decazeville qui a fourni les barres ébauchées. Leur achèvement a été confié à la Société Genevoise pour la construction des instruments de physique et de mécanique (à Genève, Suisse).

Les étalons G14 et g22 sont construits en alliage d'acier au nickel à section en H, dont les côtés ont 35 millimètres. Cet alliage a été découvert et étudié par M. le Directeur du Bureau International des Poids et Mesures Ch. Ed. Guillaume. L'alliage, possédant la plus faible dilatabilité a reçu le nom d'invar (diminutif d'invariable), proposé par M. le professeur M. Thury et généralement adopté aujourd'hui. Sous ce point la dilatabilité dans l'alliage, contenant 0,4% de manganèse et 0,1% de carbone (alliage type), est égale à 1,2 millionième (1,2 micron par mètre et 1°C).

Les règles G14 et g22 sont enfermées dans une caisse en bois et soutenues au fond de la boîte par deux appuis.

Aux extrémités, la boîte peut s'ouvrir par le rabattement d'une petite portion du couvercle. Le tracé de la règle G14 pratiqué sur le plan des fibres neutres se compose de quatre systèmes des traits pour chaque mètre.

Les comparaisons des règles-étalons G14 et H15 (en alliage à 42% Ni) exécutées dans le courant de 18 années (1909-1927) ont permis de donner le diagramme de la fig. 10 (p. 46), qui représente les changements progressifs de la longueur de la règle G14 sous la seule influence du temps.

La dilatation de cette règle a été déterminée à cinq températures différentes (0,7°, 0°, 18°, 24° et 31°) au mois d'avril 1926.

L'opération entière comprend 30 observations qui ont donné les valeurs pour $\alpha = +2,448$ et pour $\beta = +0,002$ (par 3 mètres et 1°).

La règle-étalon d'un mètre g22 a été étudiée au Bureau International des Poids et Mesures en 1908 et la dilatation de cette règle est donnée par l'expression

$$\gamma = [1,050 + 0,00107 t] \times 10^{-6}$$

La longueur de la règle g22 a été déterminée pour l'intervalle (1—1001) mm, parce que le trait de 0 m est un peu défectueux.

Les valeurs de longueur de la règle g22 à 0° aux époques diverses sont représentées par la table suivante:

1909	avril	27	g22	(1—1001)	mm = 1 m + 20,80 μ
1911	avril	23	g22	"	" = 1 " + 23,30 "
1913	décembre	31	g22	"	" = 1 " + 24,38 "
1914	mars	2	g22	"	" = 1 " + 24,55 "
1924	septembre	9	g22	"	" = 1 " + 28,20 "
1925	février	4	g22	"	" = 1 " + 28,48 "

On voit de cette table que les changements progressifs de la règle g22 sont très-petits et dans le courant de 16 années (1909—1925) ils ne dépassent pas 10 microns.

4. N. Ch. Preipitch. Sur l'élimination des erreurs systématiques des chronographes à électroaimants, pp. 48—57.

§ 1. Principes de l'application du chronographe. Deux méthodes différentes sont proposées pour en éliminer les erreurs systématiques. Soient R_1, R_2, R_3 les moments des contacts des pendules v_1 et v_2 , la durée de la réaction des plumes du chronographe; p la parallaxe géométrique des plumes. La formule 3 représente la valeur totale de la parallaxe des plumes. Les équations 2, 4, 6 permettent d'en déduire d'autres: 5 et 8, qui donnent la solution du problème.

Les équations (2')... (8') concernent les changements w_1 et w_2 , qui surviennent dans les valeurs v_1 et v_2 dans les cas, où l'interrupteur du courant est chuté à une résistance ohmique. Le chûnt peut être une cause des erreurs systématiques.

§§ 2, 3. Les phases du chronographe; la détermination du retard des phases et du celui des deux relais. Le retard relatif des phases peut être déterminé grâce à un relais auxiliaire aux contacts situés des deux côtés de l'ancre. Les équations (9)... (20), ou R', R'' et R' signifient les moments des contacts du relais principal et auxiliaire, Δ_1 et Δ_2 les retards des signaux de fermeture, enregistrés par les plumes; x' et x'' les erreurs des secondes impaires des mêmes relais en fournissent la solution.

§ 4. Expériences. Les tables I, II et la fig. 1 démontrent l'influence de l'intensité du courant sur les signaux de rupture (courbe I); ceux de fermeture (courbe II) et sur le retard relatif des signaux de fermeture (courbe III) dans le cas de l'interrupteur non chuté. La table III et la fig. 2 représentent la même influence dans le cas des interrupteurs chûntés; la table IV et la fig. 3—celle de la tension du ressort de l'ancre sur les mêmes signaux. Dans tous ces expériences chaque plume du chronographe a été alimentée par une batterie spéciale. L'investigation, portée sur l'influence mutuelle des deux chaînes du chronographe à différents interrupteurs, s'est prononcée dans le sens négatif. Un retard considérable a été établi (table V) pour les deux relais, alimentés par les mêmes pendule et batterie.

§ 5. Conclusion. 1) Il est préférable de se servir des batteries spéciales pour chaque plume du chronographe.

2) Ce sont les bobines du chronographe, qui doivent être chûntés par les résistances ohmiques, et pas les interrupteurs du courant.

3) Une combinaison d'un courant relativement faible avec la tension maximale du ressort semble être la plus avantageuse.

Donc il est certain, que dans ces conditions le choix des signaux, fournis par la rupture du courant présente de grands avantages.

5. B. I. Rak. Sur la réception des signaux rythmés d'après la méthode de W. E. et F. B. Cooke modifiée, pp. 58—68.

La méthode, proposée primitivement par M^s. W. E. et F. B. Cooke pour la réception des signaux rythmés, a été modifiée par M. Preipitch¹⁾. Deux téléphones, T_1 et T_2 , sont reliés en

¹⁾ V. Bulletin de la Société Astr. russe, livraison XXV.

parallèle au récepteur, et un chronomètre à contact est intercalé dans le circuit de l'un d'eux, soit T_1 . Si l'on emploie un amplificateur, il est utile d'intercaler encore un condensateur de 0,5 à 2 mfr. dans le circuit de T_1 . Le chronomètre ferme le courant pour une demi-seconde et le coupe ensuite pour la même durée. De cette manière les signaux passent pendant la réception d'un téléphone à l'autre et peuvent être écoutés en partie dans T_1 , et en partie dans T_2 . Ceux qui sont perçus les premiers sont évidemment les plus rapprochés des moments de la fermeture ou de la coupure du courant, c'est-à-dire des secondes entières ou des demi-secondes. Il est préférable de noter les apparitions dans T_1 . Ils arrivent toujours vers la fin de la période de fermeture, comme l'observateur notera à son chronomètre les moments de coupure, l'erreur introduite sera toujours positive. Si l'intervalle entre deux signaux est de $(1-k)^n$, cette erreur variera de 0 à k^n .

Les recherches de l'auteur de cette notice ont prouvé qu'il existe, en général, deux sortes d'intervalles entre deux apparitions consécutives des signaux et que la durée des intervalles les plus longs (que nous nommons normaux) dépasse d'un signal la durée des intervalles raccourcis; on constate, même, mais assez rarement, des intervalles qui s'écartent de deux points des intervalles normaux.

Si l'on considère deux apparitions, qui se succèdent à m intervalles, dont n raccourcis, l'équation fondamentale de la méthode s'écrit:

$$\Delta_m = \Delta_0 + m(pk - 1) - nk$$

où Δ_0 et Δ_m sont les erreurs des apparitions, et p désigne le nombre des points dans une série normale. Chaque intervalle raccourci fait diminuer l'erreur, tandis que chaque intervalle normal la fait augmenter, puisque l'on a:

$$k > pk - 1 > 0.$$

En exprimant toutes les Δ en fonction de l'une d'elles, par exemple de Δ_0 , on peut établir les inégalités:

$$0 < \Delta_m \leq k$$

ou bien:

$$nk - m(pk - 1) < \Delta_0 < (n + 1)k - m(pk - 1).$$

En considérant une série d'inégalités de cette espèce, et en comparant leurs parties droites et gauches entre elles, on peut obtenir des limites nouvelles, qui serviront à établir les limites de k ; or k étant fixé, on obtient les limites supérieures et inférieures pour Δ_m , correspondantes à cette valeur de k .

Remarquons enfin, que si le nombre des apparitions n'est pas élevé, il est préférable de se servir pour les calculs de réduction de notre table p. 65. Si le nombre des apparitions augmente (par exemple, 5 ou 6 apparitions), on se servira avec avantage d'une méthode de calcul simplifiée: la marche k sera obtenue d'après les apparitions les plus espacées, dont on choisira celles qui sont homogènes, c'est-à-dire celles qui arrivent par successions identiques des intervalles normaux et raccourcis; après avoir réduit toutes les observations à un seul moment, on diminuera le résultat de $\frac{k}{2}$ pour atténuer l'influence des erreurs systématiques.

6. N. A. Maréline. Thermomètres de résistance en platine, pp. 69—94.

I. Notions générales sur les thermomètres en platine (L'histoire du développement du thermomètre en platine, construit par W. Siemens, Callendar, Griffiths etc., concernant la loi des changements de résistance du platine en rapport aux températures; l'effet des mélanges et la définition de la meilleure construction du thermomètre). Les travaux des observateurs postérieurs (Henning, Burgess etc.) ont prouvé la justesse de la formule de Callendar et la possibilité de se servir du thermomètre en platine, calibré à trois températures pour l'intervalle de la température de -180° à $+700^\circ$, la coïncidence avec l'échelle à gaz de l'hydrogène étant obtenue en limites de l'exactitude possible des mesures à l'aide du thermomètre à gaz.

II. Références de températures, servant à la graduation. On a consacré une attention spéciale à la réalisation des points constants du calibrage du thermomètre destiné à la définition des hautes températures, c'est-à-dire des températures de fonte de la glace, de l'ébullition de l'eau et du soufre, et on a donné les résultats des mesures de cette dernière température obtenus par divers observateurs. On étudie les conditions, nécessaires pour l'obtention des résultats comparés à la définition de température d'ébullition du soufre, surtout les méthodes de la défense du thermomètre contre le refroidissement.

III. Construction du thermomètre en platine. (Description et critique des thermomètres modèle Siemens, Hereus, Callendar; constructions spéciales des thermomètres pour buts calorimétriques). On note la nécessité de maintenir pendant les mesures la même intensité du courant passant dans le fil du thermomètre. On constate que le degré de précision obtenu de la mesure des thermomètres en platine est 0,01 degré pour les températures à 500°C et 0,1—0,2 degré pour les températures voisines à 1000°C .

IV. **Thermomètres en platine de la Chambre Centrale des poids et mesures.** On décrit ensuite les thermomètres en platine de la Chambre Centrale des poids et mesures, fabriqués de la Société de Cambridge pour la construction des appareils (instruments) scientifiques, désignés par numéros CSI 2247 et CSI 2382 type de compensation, ainsi que du pont Callendar de la même Société et sa théorie.

V. **Calibrage du pont.** Avant de commencer le travail avec les thermomètres, on a soigneusement étudié le pont et toutes les résistances calibrées, les corrections et les valeurs de résistance définies en ohms au moyen de comparaison avec l'étalon M 4044.

VI. **Étalonnage des thermomètres en platine.** On a étalonné les thermomètres à trois températures: température de la fonte de la glace, température de l'ébullition de l'eau et celle d'ébullition du soufre, admise égale de 444,5° C à 760 mm de la pression. On décrit l'appareil pour l'ébullition du soufre et l'appareil pour la préservation du thermomètre contre le refroidissement.

Les constantes des thermomètres obtenues sont:

$$\begin{aligned} \text{CSI 2382: } R_0 &= 257,11_0 \times 10^{-2} \text{ ohm; } R_{100} = 357,19_8 \times 10^{-2} \text{ ohm; } \delta = 1,490_1, \\ \text{CSI 2247: } R_0 &= 257,00_3 \times 10^{-2} \text{ ohm; } R_{100} = 357,10_0 \times 10^{-2} \text{ ohm} = 1,490_0. \end{aligned}$$

VII. **Comparaison des thermomètres à mercure avec ceux en platine.** On décrit un four spécial électrique à grande masse de cuivre électrolytique pour l'obtention de température uniforme à l'intérieur. La plus grande différence des températures de deux thermomètres comparés dans ce four est obtenue moins de 0,1 degré. Les comparaisons ont été effectuées dans ce four. Ensuite on effectue les corrections des thermomètres à mercure pour les hautes températures Nels et Bandin à échelle d'hydrogène, obtenues comme résultats des comparaisons de ces thermomètres avec ceux en platine de Mme W. A. Jakovleva (table VI).

7. G. M. Kondratieff. La formule du refroidissement d'un thermomètre. pp. 95—101.

Les lois générales de la théorie de conductibilité qui traitent la question du refroidissement d'un système quelconque formulées par M. J. Boussinesq sont appliquées dans le cas particulier du refroidissement d'un thermomètre. La formule obtenue diffère de celle qui est basée sur les considérations élémentaires par la présence d'un coefficient Ψ qui entre dans l'exposant de la fonction exponentielle et qui dépend de la distribution des températures dans le réservoir de thermomètre. La formule élémentaire conduit au résultat absurde en supposant le coefficient de la conductibilité extérieure égal à l'infini tandis que notre formule donne le résultat assez concordant avec l'expérience.

8. G. M. Kondratieff. De la formule de Griffiths pour le kata-thermomètre. pp. 102—111.

La formule empirique $F = 0,27(90,5 - t)T$ sur laquelle est basée la méthode pratique de la détermination de la constante F de kata-thermomètre est déduite de la formule générale pour le refroidissement d'un thermomètre établie dans l'article précédent. L'analyse du phénomène du refroidissement de l'instrument dans l'air calme et quelques raisonnements simples de caractère mathématique permettent de normaliser ses dimensions principales et d'évaluer le degré de précision de la méthode pratique qui paraît être de l'ordre 5% même dans les mains de l'expérimentateur habile en supposant la graduation de tige de kata-thermomètre faite sans défauts sensibles. Les erreurs dues à ceux-ci sont grandes dans des cas défavorables, mais on peut facilement les éviter.

9. E. B. Lopoukhine. Sur l'établissement des normes techniques pour les radio-batteries. pp. 112—131.

La note présente a pour but d'établir les normes techniques pour les batteries de piles, employées dans les radiorecepteurs. Ces normes jusqu'à présent ne sont établies qu'en Amérique par le Bureau of Standards et c'est seulement pour les piles à tension de plaque, mais ces données ne pouvant pas être appliquées aux batteries et lampes électroniques de fabrication russe. C'est pour cela qu'il a fallu préalablement étudier le régime optimum de deux types de lampes russes, les plus usitées le type R5 et le type „micro“. D'après les données des expériences, faites par M. Kian dasky au laboratoire de haute fréquence de la Chambre Centrale des poids et mesures, la lampe R5 avec un courant de chauffage de 0,65 A et une tension de plaque de 90—70 V, fournit un courant électronique de 3 mA, tandis que la lampe „micro“ n'exigent comme courant de chauffage que 65 mA, et une tension de plaque, pouvant varier de 80 à 85V, produit le même courant électronique (3 mA). Pour le fonctionnement de trois lampes, mises en parallèle, un courant de chauffage triple est nécessaire, mais le courant dans le circuit à plaques pour différents couplages varie peu, restant à peu près égale à 3 mA.

Il résulte de ces données que pour le chauffage de lampes R5, les piles sont hors d'usage, vu la grande intensité du courant nécessaire, qui d'habitude est fourni par des accumulateurs,

quand aux lampes „micro“, le courant de chauffage ne dépassant pas 0,25 A (pour quatre lampes), les batteries de 3 piles sèches d'une certaine capacité sont toutes indiquées. De même les batteries de piles de petite capacité mais de tension supérieur, peuvent être employées pour la tension de plaque dans les deux types de lampes.

Après une série d'expériences faites, conformément aux résultats ci-dessus mentionnés, avec des batteries de chauffage et de tension de plaque l'auteur a établi les normes suivantes adoptées par le Conseil Electrotechnique Central.

Les batteries de chauffage se composent de trois piles sèches insérées dans une enveloppe en carton de dimension $245 \times 85 \times 165$ mm. La force électromotrice ne doit pas être inférieure à 4,35 V. La capacité de la batterie, éprouvée par une décharge continue à travers une résistance de 20 ohm à la température de 15° – 20° C jusqu'à la tension de 2,7 V ne doit pas être inférieure à 20 Ah, le courant initial étant minimum 195 mA.

Pour les batteries de tension de plaque le type des blocs à petit nombre de piles a été trouvé préférable aux batteries composées de 20 à 60 piles qui ont été constatées de plus courte durée. Définitivement deux types de ces batteries ont été établis A_1 et A_2 de petite capacité et d'une plus grande formant des blocs de six piles, insérées dans une enveloppe en carton. Les dimensions d' A_1 est de $148 \times 28 \times 75$ mm et d' A_2 — $196 \times 36 \times 85$ mm. La force électromotrice des batteries A_1 et A_2 ne doit pas être moins de 8,7 V. La capacité éprouvée par une décharge continue à la température de 15 – 20° C jusqu'à la tension de 7 V à travers une résistance de 200 ohm pour A_1 et de 1000 ohm pour A_2 ne doit pas être inférieur à 0,6 Ah pour A_1 et 1,3 Ah pour A_2 . Les courants initiaux minimum dans conditions sont: pour la batterie A_1 4,3 mA et pour A_2 —8,5 mA.

Les expériences portées sur le degré d'isolation des enveloppes des batteries ont constaté que l'isolation, mesurée après 24 heures de séjour dans une atmosphère saturée de vapeur ne doit pas s'abaisser moins d'un mégohm.

Le décroissement de la force électromotrice à cause de la décharge spontanée ne doit pas dépasser 2% en dix jours.

Les recherches sur l'effet de la température élevée à 45° C sur diverses piles et batteries ont établi un petit accroissement de la force électromotrice (environ 1%) et une grande augmentation (presque de 200%) de la décharge spontanée et de la capacité.

10. N. I. Spiridovitch. Recherches sur la nature magnétique des mélanges de deux matériaux magnétiques de propriétés différentes, pp. 132—144.

Les propriétés magnétiques de l'acier dépendent des rapports de deux matériaux principaux: qui composent l'alliage du fer et du carbone. Les éléments structurales de l'acier carbonique sont le ferrite ou le fer presque pur et le cémentite avec la teneur de C jusqu'à 6,67%.

Les recherches sur l'influence de chacune de ces composantes à part sur les propriétés magnétiques de l'acier présentent de grandes difficultés.

L'auteur de cet article, en but de se rapprocher de l'éclaircissement de l'influence ci-mentionnée, avait fait des recherches sur les propriétés magnétiques des mélanges mécaniques de deux matériaux magnétiques avec la teneur différente du carbone, pris successivement dans les pourcentages différents.

Après avoir déterminé expérimentalement et à l'aide des calculs B_m , B_0 et H_c des échantillons du fer doux et de l'acier trempé, chacun à part, ainsi que leurs mélanges, en changeant chaque fois la composition de 5%, et ayant composé les graphiques en forme des courbes (fig. 1, 3, 3 et 4), on est parvenu au résultat, que chaque composante du mélange a une action indépendante dans tous le cas d'aimantation, ce que donne la possibilité de faire l'intégration algébrique des inductions, qui se manifestent dans les échantillons, et de faire les calculs de B_m , B_0 et H_c pour les mélanges des matériaux magnétiques aux pourcentages différents, à condition que les courbes des cycles magnétiques des matériaux primordiaux sont connues.

B_m et B_0 calculés correspondent presque entièrement aux observations; quant à la force coercitive, elle ne peut être calculée qu'avec la précision de ± 1 gauss; le signe de correction dépend du pourcentage du mélange.

Pour l'étude détaillée de la forme des cycles d'hystérésis dans les paquets de plaques du mélange de l'acier carbonique de ressort et du fer doux transformateur, quatre paquets ont été soumis à l'aimantation cyclique et leur courbes ont été composées (fig. 5, 6, 7, 8). Ces courbes dévient de la forme ordinaire de la boucle d'hystérésis; dans les champs faibles de l'aimantation, la courbe de l'induction tombe promptement, et à l'augmentation du champ un genou se forme sur la branche descendante de la courbe du cycle magnétique du mélange; il se déplace sur la courbe tout en dépendant du pourcentage de l'alliage du fer.

Les surfaces des courbes des cycles magnétiques de l'acier du fer et de leurs alliages, observées et calculées, ont été mesurées à l'aide du planimètre, et les pertes d'énergie par hystérésis pendant le cycle complet sont calculées par la formule:

$$W = \frac{1}{4\pi} \int H dB$$

en ergs par cm^3 . Dans les mélanges les pertes par hystérésis ont été calculées aussi sans planimètre des surfaces en supposition qu'elles seront déterminées par la simple totalisation des per-

les des composantes douces et dures. Il en résulte que les pertes par hystérésis pendant le cycle complet en ergs par cm^2 peuvent être calculées pour chaque mélange avec la précision de $\pm 6,5$ pour 100, à condition que les pertes des composantes du mélange sont connues.

12. L. N. Bogojavlensky. Sur la méthode de la préparation de l'oxyde vert de l'uranium (U_3O_8) pur. pp. 145—150.

La comparaison des combinaisons radioactives éliminant les rayons α se produit usuellement par l'intermédiaire de l'oxyde vert de l'uranium (U_3O_8). La radioactivité de celui-là dans l'état d'équilibre se compose des radioactivités U_1 , Ux_1 , Ux_2 et U_{11} , dont U_1 représente la masse principale de la matière émettant α -rayons avec le parcours de 2,65 cm. Le courant de saturation total de la couche saturée des rayons α pour 1 cm^2 est égal à $1,75 \times 10^{-3}$ E. C. E. par sec. ou $5,75 \times 10^{-13}$ ampères.

La valeur indiquée du courant de saturation ne peut être obtenue qu'à la condition de la pureté chimique et radiologique du composé, c'est pourquoi on prend les précautions spéciales pour la préparation du dernier. La pureté chimique et radiologique du composé peut être garantie par le procédé chimique de la purification, par la grandeur du courant de saturation des rayons α pour 1 cm^2 de la surface et par la régularité de l'accroissement de la courbe des rayonnements pénétrants.

La matière première, d'où l'on prépare l'oxyde vert de l'uranium, est le minéral radioactif de Pergana contenant 16% de l' U_3O_8 . La méthode de l'extraction de l'uranium était la même qui fut proposée par Widdowson et Russell, parfaitement garantissant sa pureté chimique et radiologique.

Les mesures du composé se produisaient avec l'épaisseur de la couche garantissant la saturation pour les rayons α et pas plus tard que dans 24 heures après la séparation des produits de désintégration émettant les rayons β , pourquoi l'effet de rayonnements pénétrants était insignifiant. En outre, leur effet était contrôlé avec un philtre en aluminium d'une épaisseur de 0,1 mm. Le courant de saturation ainsi obtenu était égal à $1,74 \times 10^{-3}$ E. C. E. par sec., ce qui s'accorde bien avec le nombre de McCoy.

La courbe de l'accroissement des rayonnements pénétrants des produits de désintégration de U_1 se concorde assez bien avec la courbe théorique.

13. A. N. Bojko. Sur la méthode de la pesée électrostatique des particules minimes de la matière. pp. 151—157.

Les observations des charges électriques des particules minimes de la matière (poussières et gouttes minuscules) démontrent, qu'en grande partie elles sont chargées positivement ou négativement, tandis que les particules neutres se rencontrent exceptionnellement. Dans le cas des particules chargées on a la possibilité de compenser leur poids propre par la réaction du champ électrique à l'air du condensateur dirigé en sens opposé à la charge de la particule et d'en déduire la conclusion sur le poids exact de la particule. La définition même de la charge électrique se fait par la méthode de compte des électrons, dont le nombre peut à volonté être changé par l'action des rayons ultraviolets ou de ceux du radium. On utilise pour faciliter le calcul ce fait, que le changement de la charge ne peut se passer que par le nombre entier des électrons dont chacun diminue ou augmente la charge de $4,774 \times 10^{-10}$ unités électrostatiques.

Cette méthode donne la possibilité de peser les particules isolées ayant la dimension d'un micron environ et le poids de 10^{-11} et 10^{-12} g environ avec la précision de 0,5 pour cent.

On observe des entraves spéciales de la part de phénomènes thermiques, que l'on peut écarter en maintenant la température constante des plateaux supérieur et inférieur du condensateur.

14. M. A. Châtelain. Etalons de lumière de l'URSS. pp. 158—159.

En 1922 le Conseil Electrotechnique Central, en établissant les normes pour les lampes, a recommandé d'appliquer les unités de lumière internationales établies par le Congrès de la Commission Internationale d'Eclairage. Ces unités furent sanctionnées en l'URSS par un décret spécial de 19 mai de 1925. Le devoir d'établir et de conserver les étalons de lumière fut imposé à la Chambre Centrale des poids et mesures.

En 1926 la Chambre Centrale des poids et mesures a établi l'étalon groupé de l'URSS de l'intensité lumineuse consistant de 24 lampes, préparées en partie en Angleterre, en partie en Allemagne et en France. Les lampes formant l'étalon furent soigneusement mesurées dans le National Physical Laboratory en Angleterre (1925) et dans le Laboratoire Central d'Electricité en France (1924).

Les détails de l'établissement de l'étalon de l'intensité lumineuse est exposé dans l'article de M. P. Tikhodéeff, intitulé: „Sur l'établissement de l'étalon de lumière de l'URSS“.

15. P. M. Tikhodéjeff. Sur l'établissement de l'étalon de lumière de l'URSS. pp. 160—194.

L'étalon de lumière de l'URSS est une réunion de 24 vacuum-lampes électriques à incandescence. Avec ces lampes on conserve et reproduit l'unité d'intensité lumineuse—la bougie internationale. La douzaine de ces lampes constituant le groupe anglais fut comparée en 1925 à l'étalon de la bougie internationale du National Physical Laboratory. Autre douzaine constituant le groupe français fut comparée en 1924 à l'étalon de bougie internationale du Laboratoire Central d'Electricité et aussi à celui du National Physical Laboratory.

La valeur de la bougie internationale, adoptée comme étalon russe, tient le milieu entre les valeurs d'étalons français et anglais. Elle est plus grande que l'anglaise de 0,5% et plus petite dans la même proportion que la française.

En moyenne, chaque lampe de l'étalon de lumière reproduit l'unité russe d'intensité lumineuse avec précision $\pm 0,1\%$ à l'erreur probable de $\pm 0,1\%$. L'exactitude de la reproduction de l'unité russe par toutes les lampes de l'étalon atteint $\pm 0,03\%$ à l'erreur probable de $\pm 0,02\%$.

Il parut nécessaire d'éclaircir la question de la conservation satisfaisante des lampes pendant leur voyage en l'URSS et pendant leur conservation subséquente. Translucidation des lampes dans le champ du transformateur T e s l a a démontré le vide parfait. Les mesures de l'intensité du courant dans la lampe à la tension donnée montrent la valeur très proche aux données du National Physical Laboratory et du Laboratoire Central d'Electricité. La relation entre les valeurs d'intensité lumineuse des lampes du groupe anglais, selon les mesures du laboratoire photométrique de la Chambre Centrale des poids et mesures concorde très bien avec pareille relation d'après les mesures du National Physical Laboratory. La même relation pour les lampes du groupe français fut obtenu un peu moins concordante, mais néanmoins admissible. Ainsi il fut reconnu que les lampes sont suffisamment conservées.

On a fait la copie de l'étalon principal—l'étalon secondaire, consistant de 15 vacuum-lampes électriques à incandescence. Chacune d'elles reproduit la valeur russe d'intensité lumineuse en moyenne avec la précision de $\pm 0,2\%$, à l'erreur probable de $\pm 0,1\%$. L'exactitude de la reproduction de la bougie internationale pour toutes les lampes de l'étalon secondaire est égale à $\pm 0,01\%$, à l'erreur probable de $\pm 0,04\%$.

Les mesures photométriques se faisaient dans le laboratoire photométrique avec deux lampes de comparaison (au lieu d'une lampe usuelle), ce qui permit non seulement augmenter la précision de mesures, mais résoudre aussi la question très intéressante de la constance d'observation visuelle. Cette constance était vérifiée encore par la variation de la différence des mesures de deux observateurs. Dans le cas favorable la constance est telle, que l'exactitude d'une mesure est près de 0,1%. En moyenne, l'exactitude d'une seule mesure faite par un observateur se trouve dans les limites de $\pm 0,2\%$ à $\pm 0,3\%$. La lampe de comparaison était placée à la distance invariable du photomètre et l'éclaircissement de l'écran de celui-là était près de 15 lux.

On déterminait pendant les mesures l'égalité lumineuse par la fixation de ses limites. Une pareille méthode donne des résultats plus favorables.

La question de la constance d'intensité lumineuse d'une lampe était à résoudre séparément. En général il fut constaté que cette constance se trouve dans les limites de la précision des mesures photométriques. Les pareilles mesures d'intensité du courant répétées donnaient les résultats satisfaisants. La précision des mesures de la tension atteignait $\pm 0,00\%$, et celle du courant — $\pm 0,00\%$.

Pendant la durée de mesures de toutes les lampes de l'étalon principal et secondaire, qui a près près de 32 heures, l'intensité lumineuse des lampes diminuait. Pour contrôler l'influence de ce phénomène on a mesuré deux fois pendant toute la tenue du travail les 15 lampes de l'étalon principal. Les coefficients nécessaires de correction pour l'intensité lumineuse des lampes de comparaison furent calculés en supposant que l'unité de la bougie internationale reproduite par les 15 lampes ne change pas pendant les mesures répétées et l'intensité lumineuse des lampes de comparaison diminue proportionnellement au temps.

Les travaux d'établissement d'étalon lumineux de l'URSS sont terminés dans la première phase. Ultérieurement est projetée la répétition du travail ayant le but de déterminer la relation, entre les unités de la bougie russe et de celle de la France, de l'Angleterre et des Etats Unis de l'Amérique.

16. E. D. Déviatkova. Les propriétés colorantes des matières blanches employées dans la photométrie et leur influence sur la précision des mesures, pp. 195—209.

La première partie de ce travail consistait en recherches du facteur de réflexion des surfaces mates en fonction de la longueur d'onde de la lumière incidente. Il fallait examiner les matières adoptées dans la photométrie comme les plus blanches. On se servait pour les mesures du spectro-photomètre de K o n i g - M a r t e n s, en admettant la méthode de substitution, c'est-à-dire, en comparant d'abord deux sources de lumière, dont l'une s'employait ensuite pour éclairer la surface examinée, l'autre s'employait comme l'intermédiaire. Puis on comparait la lumière réfléchie de l'écran examiné avec celle de la même source intermédiaire.

Quant à l'influence de la polarisation de lumière incident sur les lentilles du spectrophotomètre, elle était contrôlée de la manière suivante. On mesurait séparément composants vertical et horizontal des rayons polarisés par le prisme du spectrophotomètre. On posait pour cela la

lampe ou la plaque examinée devant les deux fentes du spectrophotomètre. Sachant ainsi le coefficient de réflexion (relatif) pour ces deux rayons et ayant mesuré le rapport de leurs intensités lumineuses pour la longueur d'onde $\lambda = 555 \text{ m}\mu$, il était possible de calculer la valeur du coefficient de réflexion pour toute la lumière incidente.

Des écrans préparés avec du MgCO_3 , MgO , BaSO_4 , CaSO_4 et ZnO ont démontré que toutes ces matières réfléchissent en moindre quantité les rayons d'ondes longues, que ceux d'ondes courtes.

Le problème suivant du travail était de rechercher la quantité d'influence de pareils écrans sur les résultats des mesures photométriques. L'étude expérimentale de cette question n'était pas possible. Mais le calcul a démontré que l'emploi de pareils écrans dans les conditions techniques usuelles est admissible sans que quelque inexactitude sensible soit introduite. Cependant dans les conditions des mesures précises et en cas de comparaisons des lampes différant beaucoup en composition de radiation (par exemple les lampes à filament de carbone et à filament de tungstène dans le vide), l'influence de l'écran-employé peut passer outre les limites de la précision des mesures, car sa valeur atteint dans les cas particulièrement défavorables 0,70%.

16. A. A. Sourine. La théorie des compteurs d'eau à disque, pp. 210—231.

1. **Compteurs à disque.** Parmi les trois systèmes fondamentaux des compteurs d'eau: ceux de vitesse, à pistons et à disque, le dernier système a la plus hardie construction: les compteurs à disque fonctionnent selon le principe de volume, mais le principe même de l'action autant que la distribution des forces motrices leur est moins visible qu'aux compteurs à pistons, et par conséquent ils exigent recherches spéciales. La présente recherche, étant très courte, en général coïncide, dans la partie de compteurs à disque plat, avec l'ouvrage de G. DARIÈS: Notes sur les compteurs d'eau, 1911; quant aux compteurs à disque conique, elle en diffère sérieusement.

Les figures 1, 2 et 3 représentent le modèle original du compteur de type „Thomson“, et la fig. 4 le modèle 1922 de type „Hersey“; leur construction est de notoriété publique et n'a aucun besoin d'explications; la différence principale de ces deux types consiste en cela que dans le premier est adapté le disque plat, dans le second—le disque conique. Des lettres isolées sur les figures ont la signification suivante: ϵ —le disque plat; δ —le disque conique; a —la chambre formée par deux cônes tronqués; 7—partie sphérique de la chambre; 17—le fond de la chambre formée par un plateau plan; d —4—la boule du disque; e —15—l'axe de la boule; o —27—diaphragme implanté dans la boîte fixe (le disque a une rainure à lèvres arrondies, qui embrasse le diaphragme); m —5—l'entrée d'eau dans le compteur et n —la sortie d'eau du dernier.

2. **Cinématique du disque.** Pendant le fonctionnement du compteur sa chambre est remplie d'eau et le disque se meut dans elle; l'eau d'entrée agit sur le disque par sa pression $\mu = \frac{kg}{cm^2}$ et par sa vitesse (la dernière influence est presque nulle et on la néglige usuellement), et l'eau de sortie—par sa contrepression $\eta = \frac{kg}{cm^2}$; puisque $\mu > \eta$, le disque se met en

mouvement. Les figures 5, 6, 7 représentent trois diverses position du disque plat pendant le fonctionnement; les lettres isolées sur elles signifient: oy —diaphragme et la rainure du disque; oA et oA' —deux génératrices, l'une du cône inférieur, l'autre du cône supérieur, situées dans le prolongement l'une de l'autre, par lesquelles le disque touche les deux cônes; R —la pression résultante, qui est normale au plateau du disque et égale:

$$R = (\mu - \eta) \frac{\pi r^2}{2} \dots \dots \dots (2)$$

où r —le rayon du disque. La résultante R , appliquée au centre de gravité g du demicercle, donne:

- a) la force R , appliquée au centre disque et transmise au pivot sphéroïdale;
- b) le moment du couple moteur M ,

$$M = R \times og = \frac{2}{3} (\mu - \eta) r^3 \dots \dots \dots (3)$$

mettant le disque en mouvement; en calculant la force vive d'eau affluante, la formule (3) est transformée en:

$$M = \frac{2}{3} (\mu - \eta) r^3 \dots \dots \dots (4)$$

où la différence $(\mu - \eta)$ peut être déterminée d'après la conception du débit caractéristique.

Les figures 8, 9, 10 et 11 représentent le disque conique et la repartition de pression sur lui; les recherches faites parallèlement démontrent, que dans ce cas on a deux forces de pression de l'eau:

a) l'une est normale à la base du cône et a pour expression:

$$R_1 = (\mu - \eta) \frac{\pi r^2 \sin^2 \beta}{2} \dots \dots \dots (12)$$

où γ —arête du cône, r —le rayon de la base du cône et 2β —l'angle au sommet du cône,
b) et l'autre—parallèle à la base du disque et égale:

$$R_2 = (\mu - \eta) \rho^2 \sin \beta \cos \beta, \dots \dots \dots (23)$$

et le moment du couple moteur:

$$M = \frac{2}{3} (\rho - \eta) r^3 (1 + \frac{2}{3} \operatorname{ctg}^2 \beta) \dots \dots \dots (26)$$

Le nome $\frac{2}{3} \operatorname{ctg}^2 \beta$ donne un moment supplémentaire en comparaison avec le disque plat, ce qui augmente la sensibilité des compteurs avec le disque conique.

3. Roulement et glissement du disque. Le mouvement du disque n'est que le roulement sur les surfaces supérieure et inférieure de la chambre avec le glissement simultané, ce qui est évident des figures 12 et 13.

L'angle centrale de glissement pour un tour du disque plat:

$$\varepsilon_1 = 2\pi(1 - \cos \theta), \dots \dots \dots (31)$$

où θ —l'angle d'inclinaison du disque sur l'horizon.

L'angle centrale de glissement sur la surface intérieur du disque conique:

$$\varepsilon_2 = 2\pi(1 - \sin \beta), \dots \dots \dots (36)$$

pendant que l'angle de glissement sur la surface supérieur du disque conique:

$$\varepsilon_3 = 2\pi[\sin \beta - \sin(2\beta - 90^\circ)] \dots \dots \dots (36')$$

Avec les significations pratiques des angles θ et β , les angles de glissement au disque conique, particulièrement l'angle ε_3 , sont plus grandes, que l'angle de glissement ε_1 au disque plat.

4. Pression sur le pivot et résistances passives. La force de pression sur le pivot et sa direction dans les compteurs à disque plat se déterminent, en correspondance avec les fig. 14—15, d'après les formules (37—39), et dans ceux à disque conique, en correspondance avec les fig 17—21, d'après les formules (45), (47), (48) et (49).

Le moment du couple résistant a pour l'expression (fig. 22 et 23):

$$M = fPr_0 \frac{\alpha - \sin \alpha \cos \alpha}{\sin^2 \alpha} = fPr_1 \frac{\alpha - \sin \alpha \cos \alpha}{\sin \alpha}, \dots \dots \dots (30)$$

où f —le coefficient de frottement des surfaces en contact.

P —la composante verticale de la force résultante R_c ,

r —le rayon de la boule sphérique = $\frac{r_0}{\sin \alpha}$ et

α —le demi-angle au sommet du cône.

5. Perte de charge à la traversée des compteurs. Le dépendance entre le débit d'eau par le compteur et la perte de précision, d'après les expériences spécialement arrangés sur trois compteurs à disque de divers types, est déterminée approximativement par la formule:

$$h = aq^2, \dots \dots \dots (53)$$

où h —la perte de charge en mètres,

q —le débit par heure en mètres cubes,

a —le coefficient pour chaque compteur, variant et se diminuant quelque peu avec l'augmentation du débit

6. Conclusion. Les susdites recherches démontrent que les propriétés métrologiques des compteurs à disque se trouvent dans la dépendance suivante de leur construction:

a) la sensibilité d'un compteur est plus haute, plus grand est le diamètre de son disque, plus petit son poids et plus petit est le diamètre de la boule de soutien;

b) les compteurs pour l'eau de chaudière à disques lourds ne peuvent pas posséder la sensibilité aussi haute que les compteurs ordinaires pour l'eau froide;

c) les compteurs à disque conique sont plus sensible que ceux à disque plat, quand le diamètre de la base d'un est égal au diamètre de l'autre;

d) l'augmentation de l'angle au sommet du cône diminue le moment supplémentaire et simultanément diminue le glissement du disque sur les surfaces de la chambre, par conséquent le choix d'angle de conicité du disque doit mettre en accord ces diverses circonstances;

e) l'exactitude du compteur dépend de la régularité de sa construction géométrique en plus haut degré, que dans les compteurs d'autres systèmes.

18. N. Ch. Preipitch et B. I. Rak. Service de l'heure de la Chambre Centrale des poids et mesures en 1923—25. pp. 232—259.

Le premier chapitre en suite de l'article de N. Ch. Preipitch: „Etablissement et maintien de l'heure exacte“ (Wrémennik, 1/13), donne les renseignements sur les modifications faites dans les calculs des observations astronomiques et dans l'interpolation des corrections. On a réuni les données, qui caractérisent la précision des observations. La différence systématique dans les azimuts, fournis par les divers culminations des étoiles circumpolaires et par les étoiles de l'heure, est confirmée. La cause de cette différence peut être attribuée aux erreurs systématiques

du Catalogue de L. Bosse. A la fin du chapitre on trouve la table des corrections quotidiennes de la pendule directrice Riefler N° 67 pour 1924 et 1925. Le second chapitre contient la définition de la longitude de la Chambre Centrale par T. S. F. Une brève caractéristique de l'appareillage du laboratoire et l'énumération des stations, dont les signaux y étaient reçus, est suivie d'une recherche sur les deux méthodes appliquées, l'usuelle par l'ouïe et celle de Cooke modifiée. Dans la première méthode on a noté une différence systématique entre les observateurs assez importante et variable avec le temps. Dans la période où l'erreur personnelle reste à peu près constante, l'exactitude de la réception peut être exprimée par la formule suivante:

$$\epsilon_m^2 = 0^{\circ}, 000^2 + \frac{0^{\circ}, 024^2}{m}$$

où m est le nombre des coïncidences annotées. Dans la méthode de Cooke les différences personnelles et leurs variations sont minimées; la précision intérieure de la réception est de l'ordre $\pm 0^{\circ}, 005$.

Pour la définition de la longitude on a pris les moments (temps m . civ. de Greenwich) des signaux émis par les stations de la Nouvelle Hollande (RAG) et Moscou (RAJ), publiés dans les circulaires de l'Observatoire de Pulkovo. L'investigation des divers résultats a démontré, que la source principale des erreurs se trouve dans les définitions de l'heure; l'erreur moyenne de la réception par la méthode Cooke est égale approximativement à $0^{\circ}, 01$. Le résultat définitif n'est fondé que sur le signaux RAJ. Il est constaté, que la longitude de la Chambre Centrale est $2^{\circ}1^{\circ}15', 935$ à l'Est de Greenwich. En se basant sur la nouvelle définition de la longitude de Pulkovo, publiée en 1927, et en introduisant une petite correction ($-0^{\circ}, 012$) dans les moments de la Chambre Centrale, on aura $2^{\circ}1^{\circ}15', 935$ E de Greenwich et $2^{\circ}, 637$ à l'ouest de Pulkovo.

Les tables II et III comparées avec les circulaires de Pulkovo (N° 5, 6, 7 et 8) permettent de calculer les moments des signaux RAG et RAJ selon les observations de la Chambre Centrale. Dans le § 4 on fait une comparaison sommaire de l'exactitude de la définition des longitudes dans les divers observatoires.

Le troisième chapitre donne les moments des signaux de l'heure rythmés, reçus en 1924 et 1925. Ils sont fondés sur le Catalogue de L. Bosse et sur la longitude de la Chambre Centrale égale à $2^{\circ}1^{\circ}15', 935$, laissant de côté la vitesse de la propagation des ondes. Jusqu'au 17 avril 1925 inclusivement il faut introduire la correction $-0^{\circ}, 012$; la période du 18 février jusqu'au 13 mai 1924 est peu certaine.

On a noté l'inégalité de la marche des signaux de la station de Nauen (POZ) et on a donné quelques renseignements sur la précision des réceptions. Les moments des signaux des stations de Uetskoyé Sjelo (RAE) et de Moscou (RAJ) durant 1925, ainsi que les moments de tous les signaux reçus dès le commencement de l'an 1926 sont imprimés dans le Bulletin du Comité de l'heure de l'Observatoire astronomique Centrale de Russie à Pulkovo.

L'article de O. K. Blumberg contient les corrections pour la réduction des moments de la Chambre Centrale au système Eichelberger.

19. S. N. Oussatj. La mesure de hautes tensions et le choix de voltmètre étalon. pp. 260—264.

Les méthodes et les appareils sont examinés pour la mesure de hautes tensions au point de vue du choix d'un voltmètre étalon. Les méthodes directes des mesures de hautes tensions ne peuvent pas donner la possibilité d'établir un voltmètre étalon, si la distribution du gradient dans le champ électrique n'est pas stable et s'il y a des conditions pour la formation d'ionisation étrangère. La méthode indirecte réduisant la haute tension au moyen d'une grande résistance non-inductive peut satisfaire aux exigences d'un voltmètre étalon à la condition de l'accomplissement de la grande résistance non-inductive.

Des indications sont données sur l'importance de la pointe et sur la possibilité de son emploi dans les mesures de contrôle.

20. L. N. Bogojavlensky. L'étalon du radium et la continuité de la désintégration radioactive. pp. 265—272.

Les changements radioactifs du radium sont accompagnés du dégagement de la chaleur, d'émission des particules α ainsi que de l'émission des rayons β et γ , qui possèdent des propriétés plus pénétrantes. On profite de ces propriétés pour mesurer le radium et pour évaluer sa période et sa constante radioactive.

En examinant les nombreuses déterminations de la période du radium et d'autres radioéléments on peut voir, que les chiffres cités se différencient sensiblement, surtout pour les radioéléments ayant la grande période, qui ne peut pas être déterminée par l'observation directe. Une discordance pareille ne peut pas être expliquée par seule erreur d'observation et on peut supposer que les causes externes du caractère cosmique réagissent sur la continuité de la désintégration radioactive.

La préparation du radium conservée dans le Bureau International de Sévres peut être estimée comme le véritable étalon à la condition, si l'on connaît tous ses changements qu'elle a éprouvés depuis le moment de sa préparation — c'est-à-dire, si la courbe de sa radioactivité durant tout le temps de son existence est parfaitement connue.

Ainsi, en appliquant cette courbe, on peut juger de la quantité véritable de radium contenu dans l'étalon depuis le moment de sa préparation et, par conséquent, savoir la grandeur de correction qu'il faut introduire pendant les mesures.

ОГЛАВЛЕНИЕ

2 (14) выпуска Временника Главной Палаты мер и весов.

	Стр.
<i>М. Ф. Маликов</i> Перечень основных эталонов Главной Палаты мер и весов и их основных копий	3—21
Длина	3
Масса	10
Время	15
Температура	16
Электрическое сопротивление	17
Электродвижущая сила	18
Сила света	20
<i>А. Н. Добрыхотов</i> , О весе литра воздуха	22—28
<i>Н. М. Егоров</i> , О чувствительности весов	29—31
<i>Н. И. Адамович</i> , Сравнение инварных геодезических жезлов-эталонов G14 и p22	32—47
<i>Н. Х. Прейлиш</i> , Об исключении систематических ошибок электромагнитных хронографов	48—57
§ 1. Принципы применения хронографа	48
§ 2. Фазы сигналов хронографа и определение их относительного запаздывания	50
§ 3. Определение относительного запаздывания двух реле при их работе различными фазами	51
§ 4. Влияние силы тока и натяжения пружины якоря на сигналы размыкания и замыкания	52
§ 5. Выводы	56
<i>Б. И. Рак</i> , О приеме ритмических сигналов по измененному способу W. E. и F. V. Cooke	
1. Схема установки	58
2. Расположение сигналов при приеме	59
3. Способ приема	59
4. Величина промежутка между появлениями	60
5. Общий вид ошибки каждого появления	62
6. Определение Δ и k	63
7. Примеры	64
<i>Н. А. Маренин</i> , Платиновые термометры сопротивления	69—104
Глава I. Общие сведения о платиновом термометре	69
Глава II. Температурные реперы, служащие для градуировки	73
Глава III. Устройство платинового термометра	76
Глава IV. Платиновые термометры Главной Палаты мер и весов	79
Глава V. Калибровка мостика	83
Глава VI. Эталонирование платиновых термометров	87
Глава VII. Сравнение ртутных термометров с платиновыми. Литература.	92
<i>Г. М. Кондратьев</i> , Формула для охлаждения термометра	95
<i>Его же</i> , О формуле Griffith's'a для ката-термометра	102
<i>Е. Б. Лолухин</i> , К вопросу об установлении технических условий для радиобатарей.	
I. Назначение радиобатарей и условия их действия. II. Испытание батарей закала. III. Испытание левых батарей. IV. Испытание изоляции радиобатарей. V. Влияние температуры на саморазряд и емкость радиобатарей. VI. Технические условия для радиобатарей	113
<i>Н. И. Спиридович</i> , Исследование магнитных свойств смесей двух различных магнитных материалов	132
<i>Л. Н. Богоявленский</i> , Метод приготовления образцового препарата зеленой окиси урана	145
<i>А. Н. Бойко</i> , Метод электростатических взвешиваний мельчайших частиц.	
Описание установки и метод наблюдений. — Определение электрического заряда частиц. — Наблюдения скорости падения частиц. — Заключение	151
<i>М. А. Штеден</i> , Световые эталоны СССР	158
<i>П. М. Тихолев</i> , Установление светового эталона СССР.	
Действующие постановления о световом эталоне. — Понятие о световом эталоне. — Установление эталона. — Электрические измерения. — Световые измерения. — Просвечивание эталонных ламп в электрическом поле. — Сила тока в эталонных лампах; амперы. — Измерение расстояний. — Сопоставление измерений фотометрической лаборатории ГП с данными NPL и LCE. — Описание эталонных ламп. — Дальнейшие работы по установлению светового эталона. — Вторичный эталон.	
Приложения. Дополнительные сведения об электрических измерениях. Нахождение положения светового равенства. Устойчивость наблюдений помощью глаза. Вычисление силы света	190
<i>Е. Д. Десяткова</i> , Цветовые свойства белых веществ, применяемых в световых измерениях, и влияние их на точность измерений	196
<i>А. А. Суриш</i> , Теория дисковых водомеров	210
<i>Н. Х. Прейлиш</i> и <i>Б. И. Рак</i> , Служба времени Главной Палаты мер и весов в 1923—25 г.г.	
I. Определение времени в 1924 и 1925 г.г. II. Одностороннее определение длины Главной Палаты мер и весов, выполненное в 1923 г. III. Моменты радиосигналов в течение 1924 и 1925 г.г.	232
<i>С. Н. Усатый</i> , Измерение высокого напряжения в связи с вопросами о выборе высоковольтного вольтметра, как эталона	260
<i>Л. Н. Богоявленский</i> , Непрерывность радиоактивного распада и эталон радия	265
Table des matières de la 2 (14) ^e partie de Wremennik (Annales) de la Chambre Centrale des poids et mesures	278

ИЗДАНИЯ ГЛАВНОЙ ПАЛАТЫ МЕР И ВЕСОВ.

Ленинград, Международный пр., 19.

Телеф. 158-21, 221-86 и 579-39.

- | | |
|--|------------|
| 1. Сравнительные таблицы русских, метрических и английских мер. С.-Петербург, 1902 г. | Разошлось. |
| 2. Маликов, М. Ф. О форме гирь. Петроград, 1918 г. | Разошлось. |
| 3. Исаков, Л. Д. Простые соотношения между русскими и метрическими мерами. Петроград, 1920 г. | — р. 25 к. |
| 4. Материалы по вопросу об установлении нормальной системы предельных калибров. Петроград, 1921 г. | 1 „ — „ |
| 5. Правила для сокращения обозначений метрических мер. Петроград, 1921 г. | Разошлось. |
| 6. Разварин, А. М. Что нужно знать каждому владельцу мер и весов. С 37 рис. в тексте, под ред. В. А. Мюллера, Ленинград, 1926 г. | — р. 65 к. |
| 7. Доброхотов, А. Н. О том, как люди измеряют землю. Научно-попул. библиотека, вып. 1-й. Ленинград, 1927 г. | — „ 15 „ |
| 8. Семенов, Л. И. О метрической системе мер. Петроград, 1923 г. 2-е издание | — „ 15 „ |
| 9. Хвольсон, О. Д. Метрическая система мер и весов. Москва, 1925 г. 2-е издание | — „ 30 „ |
| 10. Соколов, Ф. Ф. О метрической системе мер и весов. Москва, 1925 г. 2-е издание | — „ 20 „ |
| 11. Сравнительные таблицы русских и метрических мер. Петроград, 1923 г. | Разошлось. |
| 12. Метрические меры. Стенная таблица Л. Д. Исакова. Ленинград, 1925 г. 2-е издание | — р. 30 к. |
| 13. Таблица для замены русских гирь метрическими и обратно. Петроград, 1923 г. | Разошлось. |
| 14. Доброхотов, А. Н. Весы. Руководство для поверителей. Ленинград, 1926 г. 2-е издание, дополненное | 1 р. 75 к. |
| 15. Исаков, Л. Д. На все времена, для всех народов. Петроград, 1923 г. | — „ 75 „ |
| 16. Метрическая система мер. Таблица торговых мер длины. 5-е издание, 1926 г. | — „ 12 „ |
| 17. Метрическая система мер. Таблица торговых мер веса. 5-е издание, 1925 г. | — „ 12 „ |
| 18. Метрическая система мер. Таблица мер веса для точных взвешиваний. 1925 г. | — „ 12 „ |
| 19. Метрическая система мер. Таблица торговых мер веса для оптовой торговли. 2-е издание, 1926 г. | — „ 12 „ |
| 20. Метрическая система мер. Таблица торговых мер жидкостей. 3-е издание 1926 г. | — „ 12 „ |
| 21. Правила об устройстве мер длины, мер вместимости и весов. Ленинград, 1926 г. | — „ 60 „ |
| 22. Правила об электрических счетчиках. Петроград, 1923 г. | — „ 15 „ |
| 23. Такса за проверки и испытания, производимые в Метрологическом Институте Главной Палаты мер и весов. Петроград, 1923 г. | — „ 25 „ |
| 24. Второе годовое общее собрание Главной Палаты мер и весов 9 декабря 1923 г. Ленинград, 1924 г. | — „ — „ |
| 25. Таблицы для перевода мер веса, русских мер в метрические и метрических в русские. Ленинград, 1925 г. 4-е изд. | — „ 25 „ |

26.	Медицинские максимальные термометры. Закон, правила, инструкции и необходимые сведения. Ленинград, 1924 г.	— р. 50 к.
27.	Инструкция милиции по надзору за соблюдением правил о мерах и весах. Ленинград, 1926 г.	— „ 10 „
28.	Описание и способ употребления перегонного прибора для определения крепости виноградных вин. Ленинград, 1926 г. 2-е издание	— „ 25 „
29.	Поверка и клеймение мер длины, мер вместимости, гирь и весов. Руководство для поверочных палат. Ленинград, 1926 г. 2-е издание	— „ 50 „
30.	Исаков, Л. Д. Международная метрическая система. Ленинград, 1925 г.	— „ 30 „
31.	Виноградов, В. П. Пропаганда метрической системы. Ленинград, 1925 г. 2-е издание	— „ 45 „
32.	Ката-термометр Хилла. Описание и способ употребления. 13-е издание. Ленинград, 1927 г.	— „ 35 „
33.	Метрические меры. Плакат. Ленинград, 1925 г.	— „ 25 „
34.	Отчет о деятельности Главной Палаты мер и весов за время с 1-го октября 1923 г. по 1-ое октября 1924 г. Ленинград, 1925 г.	— „ — „
35.	Таблицы для перевода мер длины, русских в метрические и метрических в русские. Ленинград, 1925 г.	— „ 60 „
36.	Таблицы к металлическому спиртомеру, с описанием и наставлением к его употреблению. Ленинград, 1925 г.	Разошлось.
37.	Коржинский, А. В. Руководство по уходу за геодезическими инструментами. Ленинград, 1925 г.	1 р. 75 к.
38.	Переводная таблица русских и метрических мер веса для розничной торговли. Ленинград, 1925 г.	— „ 08 „
39.	Перевод мер веса, русских в метрические и метрических в русские. Стенная таблица. Ленинград, 1925 г.	— „ 12 „
40.	Мурашкинский, В. Е. Оптика бинокля. Ленинград, 1925 г.	4 „ 50 „
41.	Таблицы для перевода показаний пурок золотниковой в метрические и обратно. 2-е издание.	— „ 40 „
42.	Эбуллиометр Саллерона, Ленинград, 1925 г.	— „ 45 „
43.	Таблицы удельных весов водных растворов спирта для температур от 0° до 30° по стоградусной шкале. Ленинград, 1925 г.	— „ 25 „
44.	Безикович, Я. С. Математика. Руководство для поверителей. Ленинград, 1926 г.	2 „ 50 „
45.	Таблицы для перевода квадратных и кубических мер русских в метрические и метрических в русские. Ленинград, 1926 г.	— „ 45 „
46.	Отчет о деятельности Главной Палаты мер и весов за время с 1-го октября 1924 г. по 1-ое октября 1925 г. Ленинград, 1926 г.	— „ — „
47.	Д. И. Менделеев. Его научное творчество и работы в Главной Палате мер и весов. Ленинград, 1926 г.	— „ 75 „
48.	Таблицы для перевода мер жидкостей и сыпучих веществ русских в метрические и метрических в русские. Ленинград, 1927 г.	— „ 30 „
49.	Адамович, Н. И. Введение в метрологию и измерение длины. Руководство для поверителей. Ленинград, 1927 г.	2 „ 20 „
50.	Афанасьев, М. А. Работы в лаборатории мер длины. Руководство для поверителей. Ленинград, 1927 г.	— „ 40 „
51.	Богуславская, Л. А. Работы в весовой лаборатории. Руководство для поверителей. Ленинград, 1927 г.	— „ 60 „

52	Отчет о деятельности Главной Палаты мер и весов за время с 1-го октября 1925 г. по 1-е октября 1926 г. Ленинград, 1927 г.	— р. — к.
53.	Таблицы для взаимного перевода показаний пурок (литровой, 1/4-литровой, 20-литровой, золотниковой и гектолитровой)	— „ 75 „
54.	Очковые стекла и приборы для измерения их оптических свойств. Постановление Президиума ВСНХ СССР, правила и такса. Ленинград, 1927 г.	— „ 50 „
55.	Точные таблицы русских и метрических мер. Москва, 1928 г.	Печатается.
56.	Мурашкинский, В. Е., Мерц, А. И., Майзель, С. О., Мильк, Г. А. Офтальмологическая оптика, под ред. проф. Л. Г. Беллярминова. Ленинград, 1928 г.	6 р. 75 к.
	Доброхотов, А. Н. О том, как люди измеряют землю. Ленинград, 1927 г.	— „ 15 „

Повременные издания Главной Палаты мер и весов.

1.	Временник Главной Палаты мер и весов. Части: 1 (1894 г.)—12 (1918 г.), каждая часть по	1 р. — к.
	Выпуск 1 (13), 1925 г.	3 „ — „
	Выпуск 2 (14), 1928 г.	6 „ — „
2.	Бюллетени Комитета эталонов и стандартов. № 1—1923 г.	1 „ — „
	№ 2—1923—1924 г.г.	1 „ — „
	№ 3—1923—1924 г.г.	1 „ — „
	№ 4—1925 г.	1 „ — „
3.	Труды Комитета эталонов и стандартов. Стандартизация строительных вяжущих веществ. Ленинград, 1925 г.	1 „ — „
	То же. Стандартизация измерительных приборов	1 „ — „
4.	Поверочное дело. Выпуск 1—1916 г.	1 „ — „
	Выпуск 2 (1925 г.)—6 (1926 г.) по	1 „ — „
	Выпуск 3 (7)—1926 г.	2 „ — „
	Выпуск 1 (8)—1927 г.	1 „ 50 „
	Выпуск 2 (9)—1927 г.	1 „ — „
	Выпуск 3 (10)—1927 г.	1 „ — „
	Выпуск 4 (11)—1927 г.	1 „ — „
	Выпуск 1 (12)—1927 г.	1 „ — „
	Выпуск 2 (13)—1927 г.	1 „ — „

СКЛАД ИЗДАНИЙ:

Главная Палата мер и весов. Ленинград, Международный, 19.

ТАМ ЖЕ ПРОДАЮТСЯ следующие издания:

1.	Описание автоматических весов „Хронос“, системы Рейтер и Рейзерг, для учета солода. С.-Петербург, 1914 г.	1 р. — к.
2.	Описание способов точных взвешиваний, сост. В. Глуховым. С.-Петербург, 1878 г.	1 „ — „
3.	Таблицы к ареометру для нефтяных продуктов и для определения их веса в измеренных водою помещениях. С.-Петербург, 1904 г.	3 „ — „
4.	Таблицы к сахарометру. С.-Петербург, 1901 г.	1 „ — „
5.	Таблицы к стеклянному спиртомеру. 1911 г.	— „ 50 „
6.	Разварин. Что нужно знать каждому владельцу мер и весов. Ленинград, 1926 г.	— „ 60 „

ГЛАВНАЯ ПАЛАТА МЕР и ВЕСОВ

(Ленинград, Международный пр., 19).

В ИЗДАНИИ ГЛАВНОЙ ПАЛАТЫ МЕР и ВЕСОВ ВЫШЛА КНИГА:

В. Е. МУРАШКИНСКИЙ, А. И. МЕРЦ, С. О. МАЙЗЕЛЬ, Г. А. МИЛЬК

„ОФТАЛМОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИКА“.

Руководство для врачей, студентов и оптиков, под редакцией и с предисловием профессора Л. Г. Беллярминова.

450 стр., 250 рис. 1928 г.

СО Д Е Р Ж А Н И Е.

Предисловие редактора.

Глава I. В. Е. МУРАШКИНСКИЙ. Основы очковой оптики (225 стр. 120 рис.). § 1. Возникновение и геометрическая оптика. § 2. Отражение света. Отражение от плоской поверхности. § 3. Отражение от сферической поверхности. § 4. Преломление света. Плоская граница раздела. § 5. Преломление света при прохождении через среду, ограниченную параллельными плоскостями. § 6. Правила. § 7. Показатель преломления и дисперсия. § 8. Преломление света через сферическую поверхность. § 9. Фокусное расстояние. § 10. Построение изображений. § 11. Двупутное увеличение. § 12. Главная плоскость. § 13. Две сферических поверхности. § 14. Линзы. Типы линз. § 15. Толстые линзы. § 16. Системы двух линз. § 17. Аберрации. § 18. Вершинная рефракция. § 19. Вершинная и главная рефракция. § 20. Вершинная рефракция и место изображения. § 21. Вершинная рефракция системы двух линз. § 22. Правильные очковые линзы при миопии и гиперметропии. § 23. Величина изображения для корригирования глаза. § 24. Положение главных плоскостей системы очковой линзы и глаза. § 25. Применение очковых линз при офтальмии. § 26. Изменение очковой линзы по величине accommodation. § 27. Очковые линзы для работы и чтения. § 28. Астигматизм глаза и цилиндрические линзы. § 29. Обобщенное положение оси цилиндра. § 30. Сферо-цилиндрические линзы. § 31. Система сферической и цилиндрической линз. § 32. Сфероторические линзы. § 33. Призматические очковые стекла. § 34. Призматическое действие децентрированной линзы. § 35. Девантирование линз. § 36. Положение очковой линзы перед глазом. § 37. Би-фокальные линзы. § 38. Нейтральные и светопоглощающие. § 39. Вращение глаза. § 40. Астигматизм очковой линзы. § 41. Анастигматическое (пунктуальное) зрение. § 42. Кривая Tscherning'a. § 43. Величина астигматизма пробной линзы по подбору очков. § 44. Анастигматические линзы с большой положительной рефракцией. § 45. Анастигматические линзы для чтения и работы. § 46. Анастигматические линзы для астигматиче-

ского глаза. § 47. Призматические астигматические линзы. § 48. Общие замечания об астигматических линзах. § 49. Дисторсия очковых линз. § 50. Бинокулярное зрение с очками. § 51. Телескопические очки. § 52. Телескопические дуплы. § 53. Наборы пробных очковых стекол. § 54. Очки и весы. § 55. Испытание очков в отдельных очковых линзах. § 56. Сферометры, цилиндрические. § 57. Метод креста. § 58. Метод нейтрализации. § 59. Разные приборы для испытания очков. § 60. Дюотриметры. § 61. Дюотриметр Цейсса. § 62. Дюотриметр Wellaworth. Литература и гл. I.

Глава II. А. И. МЕРЦ. Глаз человека, как оптический аппарат (стр. 226—304, 36 рис.). § 63. Строение глаза и его частей. § 64. Акт зрения. § 65. О светоощущении. § 66. Оптические среды глаза. § 67. Величина изображений на сетчатке. § 68. Экметропия и амметропия. § 69. Аккомодация. § 70. Зрачок. § 71. Центральное и периферическое зрение. § 72. Острота зрения. § 73. Поле зрения. § 74. Светоощущение. § 75. Исследование главного для офтальмолога. § 76. Гиперметропия. § 77. Миопия. § 78. Астигматический глаз. § 79. Астигматизм. § 80. Анометропия. § 81. Пребиблия. § 82. Бинокулярное зрение. Литература и гл. II.

Глава III. С. О. МАЙЗЕЛЬ. Офтальмологические приборы (стр. 304—364, 53 рис.). § 83. Офтальмологический. § 84. Приборы для определения рефракции. § 85. Приборы для измерения нарушения равновесия. § 86. Приборы для исследования поля зрения. § 87. Приборы для определения расстояния между зрачками. § 88. Приборы для исследования глаз. § 89. Разные офтальмологические приборы. Литература и гл. III.

Глава IV. Г. А. МИЛЬК. Технология оптического и очкового стекла, очковых линз и оправ (стр. 365—432, 48 рис.). § 90. Изготовление оптического стекла. § 91. Изготовление стекла для очковых линз. § 92. Изготовление очковых линз. § 93. Материалы. § 94. Ставки. § 95. Шлифовальные стальные. § 96. Шлифовальное и полировочное стекла. § 97. Контроль очковых линз. § 98. Обработка линз для вставки в оправу. § 99. Изготовление очковых оправ.

Книга снабжена рядом таблиц и численных задач.

Цена книги **6 руб. 75 коп.**

При обращении непосредственно в склад изданий Главной Палаты мер и весов, Международный пр., 19) цена книги 4 руб. 50 коп.

Другие издания Главной Палаты мер и весов по оптике:

1) В. Е. Мурашкинский. Оптика бинокля. 1925 (231 стр. 107 рис.). 4 руб. 50 коп.

2) Очковые стекла и приборы для измерения их оптических свойств. Постановление Президиума ВСНХ СССР, правила и типы. 1927 г. 50 коп.



