

Всесоюзный научно-исследовательский институт метрологии
КОМИТЕТ ПО ДЕЛАМ МЕР И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ
ПРИ СНК СССР

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
МЕТРОЛОГИИ

38

И 88

46 н. 10 (55)

ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ СВЕТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ И ЭТАЛОНОВ

НОВЫЙ СВЕТОВОЙ ЭТАЛОН

ИЗДАНИЕ ВНИИМ

ЛЕНИНГРАД — 1941

АННОТАЦИЯ

В ближайшее время в СССР, как и за границей, предстоит замена существующего основного светового эталона в виде электрических ламп накаливания новым эталоном в виде полного излучателя (черного тела). Всесоюзный научно-исследовательский институт метрологии готовится к такой замене. Выполненным для этого работам и посвящено главное содержание настоящего сборника.

Проф. П. М. ТИХОДЕЕВ

38

Д Д Ш

КОМИТЕТ ПО ДЕЛАМ МЕР И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ
ПРИ СНК СССР

И 88

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
МЕТРОЛОГИИ

СБОРНИК ТРУДОВ

Выпуск 10 (55)

ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ СВЕТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ И ЭТАЛОНОВ

НОВЫЙ СВЕТОВОЙ ЭТАЛОН

2505
2070

151933

nr 28, 27

Республіканська
наукова-технічна
бібліотека

ИЗДАНИЕ ВНИИМ
ЛЕНИНГРАД—1941



СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
П. М. Тиходеев. Создание нового светового эталона в виде полного излучателя (черного тела)	3
П. М. Тиходеев, К. И. Несмачный и В. Е. Карташевская. Определение коэффициента пропускания света, призмы и линзы, применяемых у светового эталона в виде полного излучателя (черного тела)	29
Н. И. Пестова, А. М. Сабуренков и П. М. Тиходеев. Сосуд из окиси тория для плавления платины в световом эталоне в виде полного излучателя (черного тела)	48
П. М. Тиходеев. Хранение световых эталонов в 1938—1940 гг. : . .	59
П. М. Тиходеев и В. Е. Карташевская. Сравнение световых единиц СССР и США. Работы 1938—1940 гг.	72

Ответственный редактор *К. Б. Карандеев*

М49439	Подписано к печати 21/IV-1941.	Печ. л. 5 ¹ / ₈ .	Авт. л. 6,5
Тираж 1000 экз.	Колнч. тип. зн. в п. л. 54.000.		Заказ 68.

Типография ПК, Ленинград, пр. Володарского, 58.

П. М. ТИХОДЕЕВ

СОЗДАНИЕ НОВОГО СВЕТОВОГО ЭТАЛОНА В ВИДЕ ПОЛНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ (ЧЕРНОГО ТЕЛА)

Введение

Только за самые последние годы определилось, каким образом на предстоящее время можно будет поддерживать международное единство некоторых единиц измерений. В отношении световых единиц соответствующее решение было изложено Консультативным комитетом по фотометрии при Международном комитете мер и весов на собрании в 1939 г. Впрочем, это решение еще не могло быть утверждено, как это полагается, Международным комитетом и очередной Генеральной конференцией по мерам и весам.

Сущность дела такова. Генеральная конференция по мерам и весам принимает так называемую спецификацию для воспроизведения светового эталона. Под последней понимается точное изложение способа устройства и применения исходного — первичного — эталона. Каждое государство, вообще говоря, может осуществить у себя по принятой спецификации собственный государственный эталон.

На первый взгляд может показаться, что такой эталон является независимым, не находящимся в каком-либо подчинении подобным же эталонам других стран. Но в действительности это понимание далеко не в полной мере справедливо. Надо прежде всего на опыте и самым строгим образом убедиться, в каких пределах точности единицы, воспроизводимые сходными государственными эталонами разных стран, — совпадают. При таких международных сравнениях единиц, что равносильно косвенному сличению основных государственных эталонов при помощи вторичных эталонов (эти эталоны в решениях Консультативного комитета по фотометрии названы „эталоны для сличений“) может выясниться то, что и обнаружилось для нового светового эталона в виде полного излучателя (черного тела). Именно, оказывается, что сравнительная точность воспроизведения световых эталонов в разных странах меньше точности метрологических измерений, применяемых при сличениях, включая и устойчивость (иначе — постоянство на длительном промежутке времени) вторичных эталонов, принятых для международных измерений. Такими вторичными эталонами являются электрические пустотные лампы накаливания с вольфрамовой нитью.

Коль скоро имеется стремление добиваться возможно большего совпадения размеров световых единиц по отдельным странам, то естественно возникает вопрос о введении таких поправок к показаниям государственных эталонов, которые были бы сделаны на основании среднего значения из единиц, воспроизводимых разными странами. Если такие поправки будут вводиться, то государственный эталон той или иной страны, уже частично теряет свою возможную независимость.

Пока еще нет международных соглашений или какой-либо практики в отношении поправок к новым световым эталонам в виде черного тела, так как до решения подобных вопросов пока еще далеко. Однако, надобность в них в действительности уже вполне выявилась (см. стр. 13).

Международное Бюро мер и весов создало у себя Фотометрическую лабораторию для выполнения международных сравнений световых единиц. Она еще не вполне закончена оборудованием. Первые международные сравнения световых единиц, основанных на новом световом эталоне в виде черного тела, по решению Консультативного комитета по фотометрии были выполнены (в 1938-1939 гг.) Национальной физической лабораторией в Англии.

Фотометрическая лаборатория Международного Бюро мер и весов приобретает весьма важное значение. Она будет сличать и хранить вторичные эталоны, получаемые ею из разных стран, имеющих основные световые эталоны. Поправки к отдельным государственным эталонам можно будет получать от нее. Она становится блюстителем единства международного единства. Страны, не имеющие собственных световых эталонов, могут получать значения световых единиц или от какой-либо страны, имеющей собственный световой эталон, или от Международного Бюро мер и весов.

Изложенное показывает, что основной световой эталон данной страны, участвующей в международных сравнениях световых единиц, в некоторой степени является в то же время и эталоном международного значения.

Описанный порядок международного хранения световых эталонов и воспроизведения световых единиц, конечно, имеет свои положительные и отрицательные стороны. На ближайшие годы он делается неизбежным не только в силу исторически сложившихся обстоятельств, но и вследствие того, что новый световой эталон в виде черного тела при всей своей трудности и сложности воспроизведения вместе с тем еще не отличается высокой степенью точности.

Вовсе не следует думать, что исследовательские метрологические работы в области создания светового эталона в ближайшие годы будут закончены. Черным телом, как возможным световым эталоном, метрологические институты разных стран занимаются почти тридцать лет. Уже принятая Международным комитетом мер и весов спецификация для светового эталона

в виде полного излучателя отнюдь не в состоянии обеспечить создание эталона, полностью удовлетворяющего всем метрологическим требованиям¹.

В связи со всем изложенным, перед Комитетом по делам мер и измерительных приборов, в лице Всесоюзного научно-исследовательского института метрологии может даже встать вопрос о том, надо ли создавать в СССР собственный государственный световой эталон, коль скоро от Международного комитета мер и весов можно будет получать точное значение международных световых единиц, хотя и через третичные эталоны, но почти с той же степенью точности, как и при наличии собственного государственного эталона?

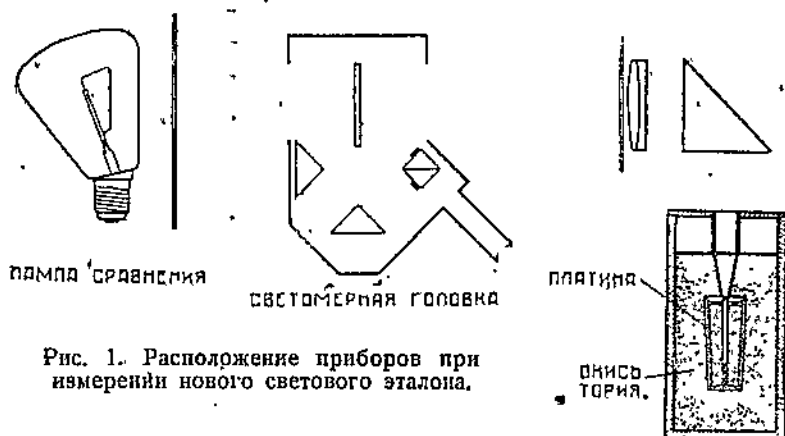


Рис. 1. Расположение приборов при измерении нового светового эталона.

Для ответа представляется необходимым предварительно осветить ход работы по созданию нового светового эталона как за границей (по литературным данным), так и во ВНИИМ.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

Спецификация для первичного светового эталона

Она была предложена Национальным бюро стандартов США Консультативному комитету по электричеству ещё в 1930 г. Лишь в 1939 г. Консультативный комитет по фотометрии официально ее принял, хотя в действительности ею пользуются со времени предложения. Вот ее текст² (рис. 1):

¹ См., например, П. М. Тиходеев "Современное состояние вопроса об установлении нового светового эталона". Сборник трудов по светотехнике, изд. Академии Наук СССР, 1938, стр. 39.

² Comité International des Poids et Mesures. "Procès-Verbaux des Séances", Session de 1931. Deuxième série, XIV, стр. 252—256.

Спецификация для первичного светового эталона

1. Общие соображения

1. Первичным световым эталоном должен быть полный излучатель (черное тело, полое пространство).
2. Излучатель должен применяться при температуре затвердевания чистой платины.
3. Действующая единица силы света (международная свеча) воспроизводится излучателем, имеющим проекцию площади, перпендикулярную к линии наблюдения, в $1,700 \text{ мк}^2$.

II. Устройство светового эталона

1. Нагревание должно производиться электромагнитной индукцией при возникновении теплоты прямо в платине.

2. Сосуд, содержащий платину, крышка и трубка для наблюдений, погруженная в платину, должны быть сделаны из вещества, которое не загрязняет платину (см. раздел III).

Рекомендуемым веществом является плавная окись тория, размельченная в порошок такой мелкой, чтобы он проходил сквозь сито с отверстиями около 0,15 мм. Удобной связью для окиси является раствор одного грамма хлористого тория в 5 кубических миллиметрах воды¹. Чтобы размолоть окись тория, следует применять мельницу со стальными шарами; примешанное во время этой обработки железо удаляется затем обработкой кислотой.

3. Сосуд должен размещаться практически так, как это показано на рис. 1. Размеры должны быть следующими:

	мм	мм
Внутренний диаметр сосуда, сверху	22 ± 2	
внизу	17 ± 2	
Внутренняя полость сосуда ²	45 ± 5	
Внутренний диаметр трубки для наблюдений	$2,5 \pm 0,2$	
Толщина стенок трубки для наблюдений между	$0,25 \pm 0,50$	

Отверстие в крышке сосуда должно иметь диаметр меньше, по крайней мере, на 0,8 мм, чем внутренний диаметр трубки для наблюдений. Отверстие в крышке сосуда, трубка для наблюдений и сосуд должны иметь общую ось. Трубка для наблюдений должна быть наполнена на глубину от 10 до 15 мм тем же веществом, из которого изготовлены сосуд и трубка для наблюдений.

Сосуд должен быть изолирован в тепловом отношении и обложен кругом

III. Чистота платины

1. Показателем для чистоты платины должен быть температурный коэффициент электрического сопротивления.

2. Применяемая платина должна быть настолько чиста, чтобы отношение электрического сопротивления при 100° к сопротивлению при 0° равнялось по меньшей мере 1,390.

3. Надлежит производить испытание для проверки того, что примененное для сосуда вещество не загрязнило платину настолько, чтобы снизить температурный коэффициент ниже указанного значения.

IV. Способ применения

1. Пользуются только теми наблюдениями, которые произведены во время перехода платины из жидкого состояния в твердое.

2. В течение времени, предшествующего затвердеванию, энергия должна доставляться индукционной печью таким образом, чтобы одинаковая темпера-

² Повидимому, здесь опечатка. В несколько более подробном описании изготовления тиглей указывается 5 миллилитров. Такой раствор является уже насыщенным. П. Т.

² Высота внутренней трубки. П. Т.

тура в металле была обеспечена действием самоперемешивания, которое тогда происходит.

3. Во время затвердевания подвод энергии должен управляться таким путем, чтобы дать постоянную мощность в течение, по крайней мере, трех минут.

V. Способы световых измерений

1. Приборы и способы, применяемые для сравнения силы света первичного эталона со вторичным, не предопределяются. Достоверно, однако, что точное измерение отверстия излучателя непрактично. Следовательно, должен применяться такой способ измерений, который зависит скорее от яркости, чем от силы света излучателя.

В изменение п. 3 раздела I спецификации Консультативный комитет по фотометрии в 1937 г. принял такое решение (утвержденное Международным комитетом мер и весов в том же году):

„Начиная с 1 января 1940 г. единица силы света будет такой, что яркость полного излучателя при температуре затвердевания платины равняется 60 единицам силы света на один квадратный сантиметр“.

Сейчас же следует добавить, что время введения новых световых единиц в середине 1939 г. было отсрочено на год, а позже, вследствие войны в Европе, оказалось неопределенным.

Работы Национального бюро стандартов США

Новый световой эталон разработан сотрудниками Национального бюро стандартов США, причем в основе использовано предложение о способе осуществления черного тела, высказанное Вэднером и Берджесом еще в 1908 г. Работы в окончательном виде начались в 1928 г. и в основном были закончены в 1930—1931 гг. Они описаны довольно кратко в отчетных работах Бюро стандартов¹.

Именно, скуповато сказано об обработке окиси тория и об изготовлении из нее сосудов с принадлежностями. Работы с платиной не описаны. Индукционная печь также не описана. Весьма трудная и сложная работа по определению коэффициента пропускания света оптической системой, применяемой при световых измерениях черного тела, описана в общих выражениях.

Про платину написано, что чистота ее определялась четырьмя способами: 1) по термоэлектродвижущей силе при температуре в 1200° С по сравнению с образцом наиболее чистой платины, имеющимся в Бюро стандартов США, 2) по температурному коэффициенту электрического сопротивления для промежутка 100° и 0°, 3) по химическому анализу (0,99998—0,99999) и 4) по спектрографическому анализу. По мнению Бюро стандартов, наиболее надежным показателем чистоты платины, к тому же хорошо изученным, является температурный коэффициент элект-

¹ H. T. Wensel, W. F. Roeser, L. E. Bairbrow, F. R. Caldwell. „The Waidner-Burgess Standard of Light“. „Bur. of Standards Journal of Research“, 1931, том 6, № 6, стр. 1103—1117.

рического сопротивления. Самое высокое его значение, отвечающее наиболее чистой платине, есть 0,003925. Бюро стандартов считает, что, платина с температурным коэффициентом в 0,00390 и более может служить для светового эталона. Вместе с тем отмечается, что, пожалуй, наиболее чувствительным является способ измерения термоэлектродвижущей силы.

Относительно определения коэффициента пропускания оптической системы сказано, что было применено два способа: по изменению освещенности после прохождения света от светящегося ящика (с отверстием) и с помощью оптического пирометра. Оба способа дали совпадающие числа. При этом Бюро стандартов нашло, что способ оптического пирометра имеет преимущества.

В докладе Консультативному комитету по электричеству в 1930 г.¹ Бюро стандартов так оценивало относительные погрешности измерений:

Площадь отверстия у линзы	$\pm 0,0003$
Измерения расстояния	$\pm 0,0002$
Пропускание света призмой и линзой	$\pm 0,0005$
Отклонение от условий вполне черного тела	$- 0,001$
Световые измерения	$\pm 0,001$

Общая же погрешность по всем ее источникам оценивалась от $+0,001$ до $-0,002$.

В отчете о работе, опубликованном год спустя (1931 г.)², погрешности некоторых измерений показаны несколько большими:

Площадь отверстия у линзы	$\pm 0,0003$
Измерения расстояния	$\pm 0,0002$
Пропускание света призмой и линзой	$\pm 0,001$
Световые измерения	$\pm 0,001$
Отступление от условий черного тела и изменение температуры вдоль стенки трубки для наблюдений	$- 0,002$

Сумма от $+0,0025$ до $-0,0045$

Общая погрешность измерений при переходе от яркости черного тела к силе света участвовавших в сравнениях эталонных (угольных) ламп при этом оценивалась от $+0,0015$ до $-0,0035$.

В докладе Консультативному комитету по электричеству в 1933 г.³ Бюро стандартов сообщило следующие сведения о продолжении работ с черным телом в 1931 и 1932 гг.

Всего с начала работ было исследовано четыре отдельных сосуда с платиной с такими данными:

¹ Comité International des Poids et Mesures. „Procès-Verbaux des Séances“, Session de 1931. Deuxième série, XIV. стр. 249 и дальше.

² H. T. Wensel, W. F. Roeser, L. E. Barbrow, F. R. Caldwell. „The Waldner-Burgess Standard of Light. „Bur. of Standards Journal of Research“, 1931, том 6, № 6. стр. 1103—1117.

³ C. I. P. M. „Procès-Verbaux des Séances“. Session de 1933. Deuxième série, XVI, стр. 254—255.

			Яркость, в межд. свечах на 1 см ²
1-й сосуд; 16 определений ¹			58,85
2-й " 16 "			58,84
3-й " 2 "			58,97
4-й " 5 "			58,91
Среднее из 39 определений			58,86

В одном из определений (апрель 1931 г.) принял личное участие известный работник Физико-технического института в Берлине проф. Хеннинг.

Среднее относительное отклонение измерений по отношению к среднему значению яркости составляет 0,0033. Наибольшее отклонение одного наблюдения составляет 0,007. В измерениях принимало участие 5 лиц. Относительные отклонения одного наблюдателя составляют около 0,005.

Работы Национальной физической лаборатории (в Англии)

До предложения спецификации Бюро стандартов США Национальная физическая лаборатория исследовала возможность применять в качестве светового эталона черное тело в виде пустотной графитовой печи, накаливаемой электрическим током. Эти работы были прекращены по видимому лишь в 1933 г. при неудовлетворительных полученных итогах.

Осуществление исследования светового эталона по спецификации Бюро стандартов США было начато в 1931 г. и было закончено в основном в 1935 г. Итоги этих многолетних исследований показаны в следующей таблице:

№ опы- тов	С о с у д	Число определе- ний	Средняя яркость в межд. св. на 1 см ²
1	Бюро стандартов		
2	США 1	43	59,22
3	1	56	59,55
4	1	32	59,71
5	2	10	58,93
	3	37	59,07
	Национальная физиче- ская лаборатория		
6	1	25	59,06
7	2	25	58,86
8	3	20	58,79

Из этих определений Национальная физическая лаборатория считает обоснованным отбросить определения яркости с сосудом Бюро стандартов № 1, так как по яркости и по температуре затвердевания платины измерения этого сосуда выпадают по сравнению с другими. Кроме того отбрасываются определе-

¹ Каждое по три плавки.

ния по сосуду Национальной физической лаборатории № 3, так как по окончании работы с ним температурный коэффициент электрического сопротивления платины оказался равным 0,003895 вместо 0,00390. В таком случае средняя яркость черного тела оказалась равной $59,0 \pm 0,20$ *межд. св.* на квадратный сантиметр. О точности говорится, что относительная погрешность определения коэффициента пропускания призмы и линзы, так же как и относительная погрешность измерений световых и линейных не свыше 0,0025.

Эти сведения представлялись в докладе Консультативному комитету по фотометрии в 1937 г.¹ Весьма поучительны, хотя и кратко изложены, сообщения о ходе работ со световым эталоном, содержащиеся в годовых отчетах Национальной физической лаборатории (с 1931 по 1935 гг.). В них нередко указывается на встречающиеся затруднения в работе.

Первые определения яркости черного тела имели отклонения до 3%. Первые определения коэффициента пропускания имели точность около 0,5%. После двухлетних опытов точность измерений яркости определялась в 0,7%. Отдельные погрешности измерений оценивались так:

для коэффициента пропускания призмы и линзы	$\frac{1}{3}$ %
для световых измерений	$\frac{1}{4}$ %
для измерения расстояний и площади отверстия	$\frac{1}{10}$ %

Национальная физическая лаборатория, отмечая трудности определения пропускания призмы и линзы, в расхождении с мнением Бюро стандартов США, считает способ оптического пирометра менее точным, чем другие. Национальная физическая лаборатория производила еще опыты с черным телом такого устройства, в котором трубка для наблюдений сделана горизонтальной. Здесь отпадает надобность в призме. Точность же измерения коэффициента пропускания одной линзы почти в два раза выше, чем призмы и линзы, вместе взятых. Но подобное устройство для черного тела, по разным причинам не оказалось приемлемым.

Работе по определению коэффициента пропускания линзы и призмы уделялось очень большое внимание в течение многих лет. Измерения повторялись в разных условиях, и точность в конце работ повысилась до 0,25%.

Можно обратить внимание, что Национальная физическая лаборатория показывает точность своих измерений всех видов меньшей, чем Бюро стандартов США.

Работа со световым эталоном во Франции

Во Франции, как известно, нет центрального метрологического института. Работы по световому эталону осуществлялись известным пирометристом проф. Рибо в Страсбургском университете. Эталон воспроизводился по спецификации Бюро Стандартов США с небольшими изменениями в отдельных частностях.

¹ C. I. P. M. Procès-Verbaux des Séances. Session de 1937. Deuxième série XVIII, стр. 247—255.

Сосуды с принадлежностями из плавленной окиси тория были предоставлены Бюро стандартов США. Платина была очищена по особому заказу фирмой Хереус (в Германии). Повидимому, определение чистоты платины производилось только перед плавками. Температурный коэффициент электрического сопротивления определен в 0,003916. Сравнение с образчиком платины от Бюро стандартов США дало основание считать, что примененная платина имела чистоту по меньшей мере 0,99998. Коэффициент пропускания оптической системы определялся при помощи оптического пирометра с относительной точностью порядка 0,001. Площадь отверстия у линзы определена с точностью до 0,0001, а расстояния измерялись с точностью до 0,00025. Точность отдельных световых измерений редко составляла 1%, а чаще всего лежала в пределах около 0,3%. Отклонения в измерениях яркости для отдельных плавок лежали в пределах от +0,53 до -0,06% при среднем значении около 0,25%. Яркость эталона была определена в 58,78 *межд. св.* на квадратный сантиметр.

Работы в Японии

Эти работы весьма кратко описаны в докладе Консультативному комитету по фотометрии в 1939 г. Они выполнялись в Электротехнической лаборатории министерства путей сообщения, в Токио. Платина была очищена в Химическом отделении Электротехнической лаборатории. Коэффициент пропускания призмы и линзы определялся по освещенности и при помощи оптического пирометра¹. Яркость черного тела была определена в 59,60 *межд. св.* на квадратный сантиметр. Это на 1,2% больше среднего значения, найденного Бюро стандартов США и Национальной физической лабораторией в Англии. Точности измерений не указаны.

Работы в Физико-техническом институте Германии

Любопытно отметить, что проф. Гофман еще в 1926 г. опубликовал отчет об исследовании черного тела при температуре плавления платины в качестве светового эталона. Но предложенное им устройство не получило международного признания, хотя и сам проф. Гофман, по имеющимся сведениям, не считал разработанный им прибор пригодным для эталона.

В 1934 г. проф. Гофман и Тингвальд² опубликовали работу об измерении температуры затвердевания платины. В начале для этого они пользовались излучателем совершенно того же устройства, которое принято для светового эталона. Сосуды из плавленной окиси тория с принадлежностями были получены от

¹ В докладе для него дается значение довольно низкое — 67,49, вместо 76, 92—78, 92 в других странах.

² F. Hoffmann u. C. Tingwaldt, Der Erstarrungspunkt von Platin, „Phys. Zeitschr.“, т. 35, 1934, № 11, стр. 434—436.

Бюро стандартов США. Затем исследователи испытали те сосуды с трубочками, которые можно достать в продаже. Но оказалось, что ими нельзя было удовлетвориться. Для окончательных измерений окись тория была изготовлена самими исследователями тем же способом, как и в Бюро стандартов. При этом трубочка для наблюдений была вставлена в сосуд несколько иначе. Она была прикреплена к крышке и не доходила до дна, приблизительно на 8 мм. Общая длина трубочки — около 37 мм, внутренний диаметр — 2,8 мм и толщина стенок — 0,5 мм. Исследователи считают, что укороченная трубочка лучше воспринимает температуру платины, а все устройство ближе к условиям абсолютно черного тела.

Температура затвердевания платины была найдена равной 1773°C (а в Бюро стандартов США — 1773°C), причем в сосудах Бюро стандартов она определялась в $1772^{\circ},2\text{C}$ (в описываемой работе Гофмана и Тингвальда).

Платина была предварительно очищена Химической лабораторией Физико-технического института (в Германии). По окончании измерений анализ платины показал присутствие в ней: палладия 0,002%, свинца 0,003%, железа 0,005%. Авторы считают, что вычисленное на основании закона Вант-Гоффа изменение температуры затвердевания получается равным $0^{\circ},4$. Следует еще добавить, что понижение температуры из-за неполноты черного тела оценивается в $0^{\circ},5$. Однако соответствующих поправок к принятому значению температуры авторы не вносят.

В сосуде находилось 120 г платины (вместо обычных 185).

В 1939 г. были опубликованы итоги работ¹ Физико-технического института по измерениям яркости нового светового эталона и по изготовлению копий с него (вторичных эталонов). Полный излучатель был осуществлен так же, как в только что кратко изложенной работе Гофмана и Тингвальда. Размеры внутренней трубочки были такими: длина 37 мм, внутренний диаметр 2 мм, толщина стенок 0,6 мм. Она была погружена в платину на глубину 23 мм. Окно в крышке сосуда было одного размера с внутренним сечением трубочки.

Вместо отдельных линзы и призмы была применена только призма, у которой одна сторона (катетная) была выпуклой, благодаря чему она заменяла линзу. Это было сделано, чтобы уменьшить число поверхностей, создающих многократные отражения. Коэффициент пропускания определялся по способу освещенности.

На испытательной пластинке фотометра создавалось изображение не отверстия в крышке, а — плоскости, лежащей, приблизительно, на 10 мм выше нижнего конца трубочки.

В измерениях участвовало два наблюдателя. Измерялась яркость как при затвердевании, так и при плавлении платины.

¹ H. Willenberg, Ueber die Leuchtdichte des schwarzen Körpers bei der Temperatur des erstarrenden Platins. „Phys. Zeitschr“, т. 40, 1939, № 11, стр. 389—391.

При плавлении яркость оказывалась, в среднем, на 1% меньше. Применялся универсальный (переносный) фотометр фирмы Шмидт и Генш, в котором для изменения яркости поля сравнения имелись вращающиеся призмы Бродгуна.

Относительные погрешности измерений оценивались так:

1. Измерение расстояния на светомерной скамье . . . 0,03%
2. Измерение площади отверстия у линзы 0,05 "
3. Измерение коэффициента пропускания 0,20 "
4. Неполнота черного тела 0,20 "
5. Неполная чистота платины 0,30 "
6. Измерения силы тока в лампах 0,04 "

Общая погрешность определялась в 0,5% или меньше. Температура затвердевания платины определялась в начале работы и была найдена в 1774°C.

Надо еще отметить соображения проф. Гофмана (от Физико-технического института в Германии), высказанные им на собрании Консультативного комитета по фотометрии в 1939 г.: черное тело еще нуждается в изучении; обнаруживается разница в температуре вдоль стенки трубки для наблюдений у черного тела порядка 1°, что может заметно отражаться на яркости.

Международное сравнение единиц, воспроизводимых новым световым эталоном

Консультативный комитет по фотометрии на собрании 1937 г. поручил Национальной физической лаборатории в Англии произвести международное сравнение единиц, воспроизведенных новым световым эталоном, считая яркость его равной 60 „новым свечам“ на квадратный сантиметр. Метрологические лаборатории приглашались прислать эталонные лампы для таких измерений к 1 апреля 1938 г. Получение ламп, однако, сильно задержалось и сравнения могли быть выполнены, повидимому, в ноябре 1938 г. и частично даже в марте 1939 г. Итоги сравнений такие:

	Относительное значение „новой свечи“ при цве- товой температуре 2046° K
Бюро стандартов США	0,9982
Национальная физическая лаборатория Англии	1,0009
Центральная электрическая лаборатория во Франции	1,0053
Физико-технический институт Германии	0,9956

Участвовавшие в сравнениях эталонные лампы после возвращения в свою страну должны подвергнуться повторным измерениям, чтобы убедиться, что они не изменились за время пути в Англию (и обратно). Строго говоря, вышеприведенные цифры следовало бы считать еще неокончательными. Но пока никаких дополнительных сведений не имеется.

Все же можно считать, что международная точность нового светового эталона заметно ниже точности, ожидавшейся каждым метрологическим учреждением: около 0,5% вместо 0,1—

0,2%. Впрочем, это обычно для международных эталонных работ.

Военные события задерживают завершение международных работ по введению нового светового эталона.

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

Работы по осуществлению нового светового эталона во Всесоюзном научно-исследовательском институте метрологии практически начались в 1939 г., хотя некоторую часть их представилось возможным начать раньше (с 1934 г.). В настоящее время в основных частях они закончены, но, как полагается, еще производятся повторные измерения для повышения точности.

Платина

Обычно применяемая в отечественной практике „чистая платина“ содержит около 0,9984 чистой платины. Так называемая платина „экстра“, повидимому, имеет чистоту 0,999. Химическая лаборатория ВНИИМ в настоящее время выполняет работу по получению платины той степени чистоты, которая требуется для светового эталона. Поставлено это было, в сущности, впервые. Эта сложная работа встречала некоторые технические затруднения в том отношении, что для очистки платины (при имевшейся исходной чистоте около 0,945) требуются вспомогательные химические вещества (например, кислоты) весьма высокой чистоты. Следовательно, ВНИИМ должен был также предварительно очищать и такие вспомогательные вещества. Оптическая лаборатория наладила спектрографический способ определения чистоты платины.

Снятие спектрограмм производилось в обрывной дуге между исследуемыми платиновыми электродами и при „конденсированной“ искре. Спектральный анализ дает качественный состав примесей к платине, а также возможность в некоторой мере судить и о количестве их. Определение чистоты платины по температурному коэффициенту электрического сопротивления выполняется в Термометрической лаборатории ВНИИМ.

Сосуды для плавки

Плавильными сосудами из окиси тория никто в СССР не занимался, за отсутствием в том надобности. Фотометрической лаборатории ВНИИМ пришлось самой заняться исследованиями в этой области. Описание относящихся сюда работ дано Бюро стандартов сравнительно кратко и без указания таких, подчас второстепенных, подробностей, которые, однако, нередко являются решающими для достижения успеха дела.

Окись тория была получена из азотнокислого тория (фирмы Бэкер в Лондоне), путем соответствующей химической переработки. Здесь, между прочим, применялись азотная и щавеле-

вые кислоты отечественного происхождения. Переработка велась в химическом отделении Радиологической лаборатории.

Оксид тория надо плавить. Температура плавления ее пока неизвестна, но считается выше 3000°C . Для плавки по способу, применявшемуся и в Бюро стандартов США, употреблялась электрическая дуговая печь с графитовыми электродами и с графитовой обкладкой (рис. 2). Графит был по особому заказу получен от завода „Электроуголь“ в Кудинове. Завод доставил угли с зольностью не более $1\div 1,5\%$. Зольность графитовых

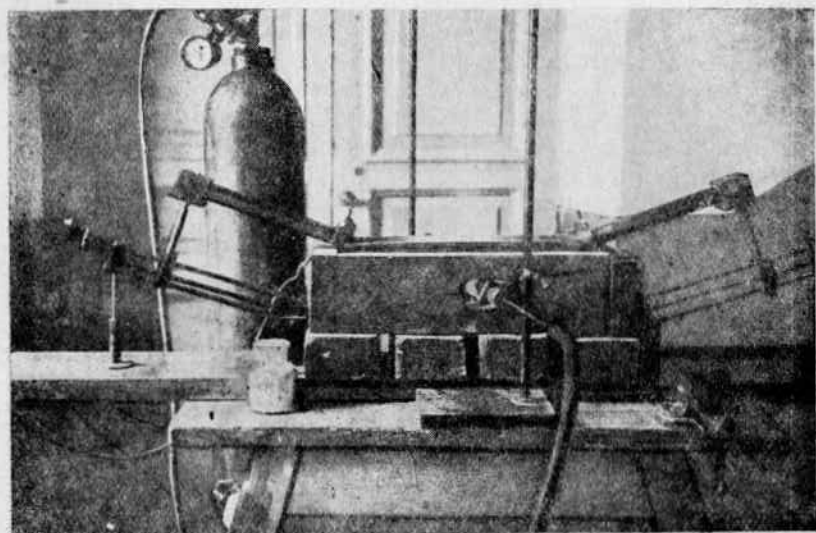


Рис. 2. Электрическая дуговая печь с подачей кислорода.

обкладок несколько больше, но это менее существенно с точки зрения опасности загрязнения окиси тория при плавке.

Переменный ток в дуге при плавке достигал $150\text{--}200\text{ а}$. Для возможного предупреждения образования карбидов тория и отчасти для обеспечения достаточно высокой температуры в дуговую печь подавался кислород сквозь осевые отверстия в графитовых электродах.

Некоторые плавки первых количеств окиси тория сделаны Фотометрической лабораторией, по условиям электроснабжения, при частичном содействии Химико-технологического института в Ленинграде. Плавленная окись тория представляется стекловидной, розоватого цвета. Прозрачность и окраска могут свидетельствовать об отсутствии заметного загрязнения. Неизбежно получающиеся при плавке в небольшом количестве карбиды легко устраняются по наружным признакам (мутные, темные скопления). Если бы карбиды все же случайно попали, то при последующей очистке (промыыванием водой и прокаливанием), они были бы удалены.

Оксид тория плавится в куски (или пленки) разнообразного вида и значительного размера (1—7 см в поперечнике). Их надо размельчить. Спецификация Бюро стандартов США для этого советует воспользоваться стальной шаровой мельницей. Плавляемая окись тория настолько тверда, что стальные шары и сосуд мельницы сильно изнашиваются и окись тория значительно загрязняется. Возникает опасение, что она засорится не только железом, которое сравнительно легко удалить соляной кислотой, но и другими примесями к стали, в частности углеродом, что особенно опасно. Поэтому Фотометрическая лаборатория пока предпочла дробить окись тория в обычной ступке Абиха. Если принять некоторые меры предосторожности, то загрязнение при этом будет сравнительно невелико. Тем не менее очистка соляной кислотой (с последующей промывкой водой и подсушиванием) производилась. Небольшие пробные количества плавляемой окиси тория после ступки Абиха растирались также и в агатовой ступке.

После размельчения окись тория просеивалась сквозь сито в 100 меш. Приходится отметить, что полученная таким путем

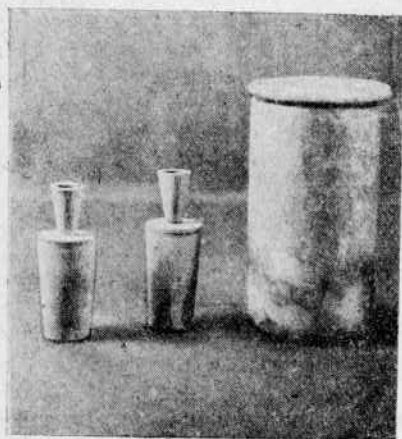


Рис. 3. Сосуды для светового эталона (слева—два внутренних из окиси тория; справа—наружный из кварца).

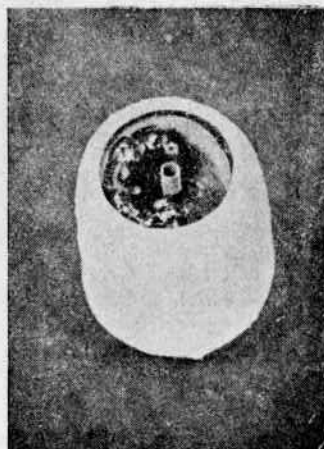


Рис. 4. Первая плавка платины в сосуде из окиси тория (вверху слева видна расплавленная часть платины).

окись тория на ощупь представляется немного более крупной, чем имеющийся образчик плавляемой окиси тория, полученной в небольшом количестве от Бюро стандартов США. Предполагается, что это не имеет существенного значения. Очень мелкий порошок можно получить отмучиванием в воде.

Сосуд (рис. 3 и 4) изготавливается путем уминания порошка окиси тория в металлической форме. Бюро стандартов США советует применять графитовые формы или стальные с хроми-

151933

рованными поверхностями. Применяемый в качестве связующего вещества насыщенный водный раствор хлористого тория имеет сильное окислительное действие. Поэтому стальная форма и сквозь слой хрома может ржаветь и в заметной степени загрязнять таким путем сосуд. В настоящее время наименьшее загрязнение ожидается получить при употреблении форм из дерева — самшита, а также яшмы или другого подобного вещества.

Набивка формы производится при помощи деревянной палочки из самшита; можно применять стерженек из платины или из окиси тория.

Значительные трудности для изготовления представляет трубка для наблюдений (рис. 5). Она может быть получена путем накатки от руки на стальную хромированную палочку



Рис. 5. Сосуд (иностранного происхождения), лопнувший после первой плавки (в середине — внутренняя трубочка для наблюдений).



Рис. 6. Кварцевый сосуд для светового эталона. Слева направо: сосуд, крышка, наружная дополнительная цилиндрическая оболочка, кольцо сверху засыпки.

тестообразной лепешки из окиси тория, слегка смоченной раствором хлористого тория. Чтобы трубочка сходила с палочки, последняя покрывается либо очень тонким оловянным, либо бумажным листочком, который после высыхания трубочки легко удаляется.

Изготовление крышки и воронки для сосуда, а также внешнего сосуда из плавленного кварца особенных трудностей не представляет (рис. 6).

Сосуды из окиси тория должны еще подвергнуться обжигу. Обжиг до температуры 1800°K не представляет особенных затруднений и может выполняться в молибденовых печах, что и испытано с полным успехом. Однако, нужен еще последний обжиг при температуре порядка $2000\text{--}2100^{\circ}\text{K}$. Для этого применяется нагрев угольного цилиндра, окружающего сосуд из окиси тория. Между цилиндром и сосудом насыпается плавляная окись магния. Нагревание производится индукционной печью.

Призма и линза

Призма и линза (двойная, склеенная) должны быть из бесцветного стекла; после длительных поисков были найдены в наибольшей степени приближающиеся к бесцветности. Считается, что незначительное нарушение бесцветности неопасно, так как коэффициент пропускания линзы и призмы определяется почти при таком же спектральном составе света, какой имеется у светового эталона.

Определение коэффициента пропускания света для призмы и линзы представляет значительные затруднения как из-за сравнительной сложности необходимого для этого измерительного оборудования, так и по причине высоких требований к тщательности самих измерений: очень точная установка в правильное положение призмы и линзы, чистота их, затенение от постороннего света, создание наилучшего поля зрения в фотометре и т. д. Фотометрическая лаборатория к настоящему времени применила два способа определений: по яркости и по освещенности.

Способ измерения яркости сквозь оптическую систему и без нее представляется, на первый взгляд, наиболее простым и точным. Однако, в измерениях участвуют добавочные яркости (число наиболее заметных из них по меньшей мере — шесть) от отражения света поверхностями призмы и линзы. Кроме того измерительное устройство из-за наличия вспомогательной линзы и фотометрического кубика может накладывать свои добавочные яркости. Дополнительные яркости лишь в самой незначительной степени участвуют при измерениях самого светового эталона. Следовательно, необходимо вводить поправки на добавочные яркости или же особым образом производить измерения. Опытное определение таких поправок также производилось, причем получено удовлетворительное совпадение с теоретическими подсчетами, которые можно произвести, исходя, например, из показателя преломления стекла.

Можно определять изложенным способом коэффициент пропускания для призмы и линзы как совместно, так и порознь, что в некоторой мере может свидетельствовать о точности измерений.

Другой способ состоит в измерении освещенности светометрной головки от некоторого источника света при наличии оптической системы и без нее. Когда применена оптическая система, то изображение источника света отбрасывается линзой на испытательную пластинку светометрной головки.

Этот способ наиболее близок к условиям измерений нового светового эталона. Одной из больших трудностей в этом способе является осуществление источника света, имеющего яркость порядка $10-60$ *сб*, вполне одинаковую на поверхности площадью около $1-0,3$ *см*². Бюро стандартов США применяет для этого выбеленный ящик с окном, освещаемый внутри газополными лампами. Некоторым недостатком здесь является

то, что светомерная головка освещается разными по размерам внутренними частями ящика, при наличии линзы и призмы и без них.

Фотометрическая лаборатория ВНИИМ применяет газополную лампу (светоизмерительную, типа № 7), вблизи колбы которой находится матовое с обеих сторон стекло, закрывающее окно в щитке, помещенном впереди лампы. Окно и является источником света. Так как матировка стекла должна быть в высокой степени однородной, а поручиться за это трудно, то измерения производятся с несколькими стеклами и в разных местах

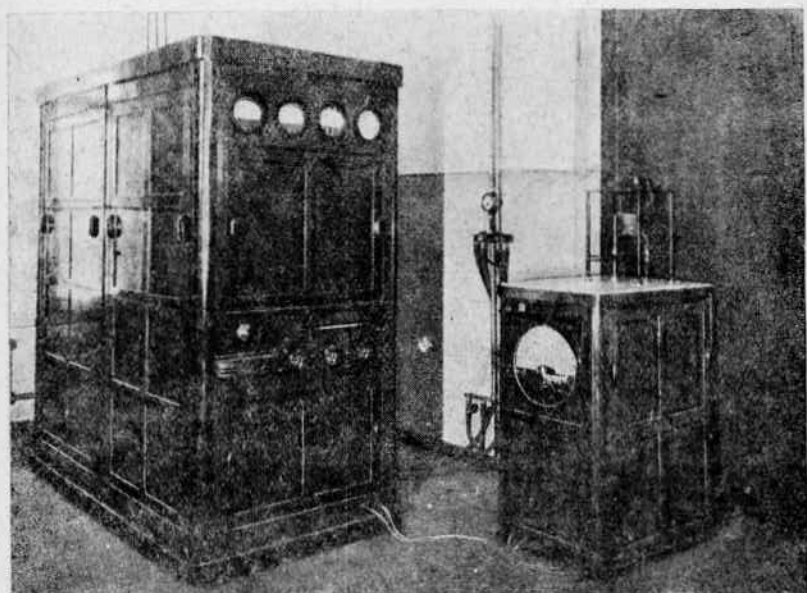


Рис. 7. Индукционный высокочастотный генератор (справа—обмотка печи, где помещается сосуд с платиной).

их. Имеются также опасения, что освещенность от данного источника на разных расстояниях не вполне строго следует закону квадратов расстояний. Влияние этого обстоятельства устраняется тем, что измерения ведутся на разных расстояниях. Все это очень осложняет измерения.

К настоящему времени оба способа определения коэффициента пропускания света испытаны для призмы и линзы при употреблении их порознь и совместно. Получена относительная точность около 0,1%.

Индукционная печь (рис. 7)

Она изготовлена, опробована и испытана. Потребляемая ею мощность — до 20 *кв*.а. Она питается от городской сети и имеет один ламповый генератор. Коэффициент полезного действия

печи — около 0,70. Частота тока около 500 кГц. Печь допускает плавное регулирование как изменением связи контуров, так и изменением накала генераторной лампы, что оказывается несколько более удобным. Печь снабжена автоматической блокировкой, предохраняющей работающих от доступа к высоковольтным частям электрического оборудования. Для водяного



Рис. 8. Общий вид измерительных установок при измерениях нового светового эталона.

охлаждения лампового генератора и нагревательной обмотки имеется запасное водоснабжение на случай спада напряжения в городской водопроводной сети.

Измерения яркости светового эталона

Рис. 1 (см. стр. 5) упрощенно показывает расположение приборов при измерении яркости светового эталона. Свет, который идет из внутренней полости трубочки, окруженной нагретой платиной, при помощи призмы полного внутреннего отражения отклоняется от отвесного направления к горизонтальному. Располо-

женная вслед за призмой объективная линза дает изображение отверстия в крышке сосуда, сквозь которое проходит свет из трубочки, на испытательной пластинке светомерной головки (рис. 8 и 9).

Расстояние между окном у линзы и пластинкой составляет около 3,4 м. Оно, конечно, должно определяться точно, что представляет некоторые затруднения, так как края отверстия в крышке из окиси тория не могут быть сделаны очень резко очерченными. Вместе с тем положение отверстия при холодном сосуде и при нагретом несколько меняется, а при нагреве возможность точного непосредственного измерения положения отверстия представляется сомнительной. Применением многократных повторных установок оптической системы на резкое изображение и многократных находений требуемого расстояния — повышают надежность его измерения.

Освещенность на испытательной пластинке светомерной головки составляет около 13 лк. Повышение освещенности было бы желательно, но

оно влечет к уменьшению светового пятна (последнее размером около 18 мм в диаметре) на испытательной пластинке. Между тем на такое уменьшение идти затруднительно, если для повышения точности световых измерений в головке применяют контрастный кубик Льюмера и Бродгуна.

Световые измерения производятся следующим образом. Платина постепенно нагревается, для чего мощность индукционной печи медленно увеличивается. Хотя и можно было бы нагреть платину в течение немногих минут, однако, предпочтительно прогрев растянуть возможно дольше, чтобы устранить возмож-

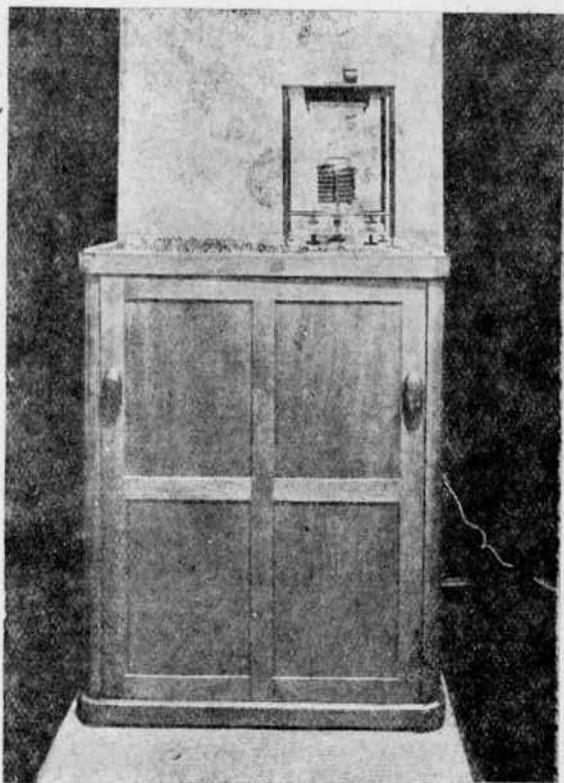


Рис. 9. Новый световой эталон (на столике — спиральная обмотка индукционной печи; внутри спирали сосуд с платиной; на подставке — призма и линза).

ность лопания плавильного сосуда. Пока Фотометрическая лаборатория вела нагревание платины до ее расплавления в течение около полутора часов. При приближении времени плавления начинаются световые измерения. Светомерная головка закреплена неподвижно и наблюдатель перемещает лампу сравнения, непрерывно поддерживая равенство яркостей обоих полей сравнения. Через равные промежутки времени (например, 20 сек.) другой наблюдатель производит отсчет расстояний между светомерной головкой и лампой сравнения. У последней поддерживается неизменным напряжение питающего ее электрического тока.

При приближении к состоянию расплавления платины увеличение подводимой к индукционной печи мощности произво-

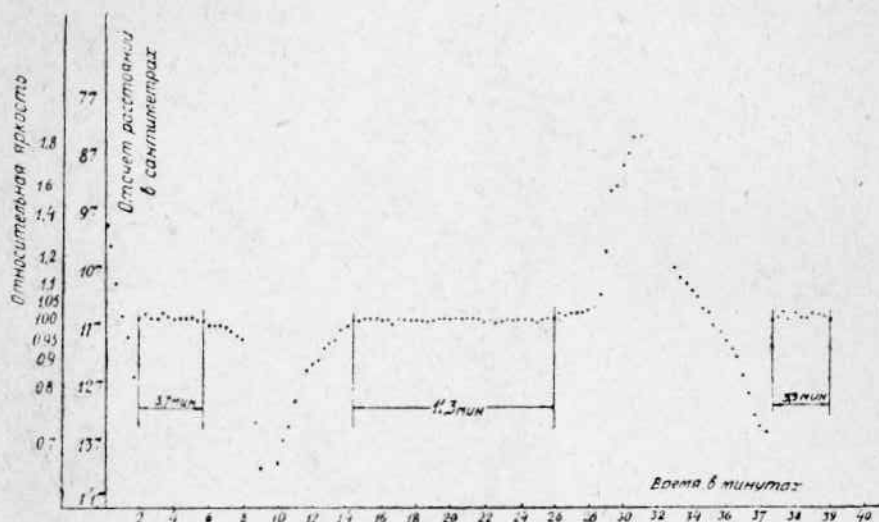


Рис. 10. Первые измерения яркости светового эталона (слева и справа — наблюдения при затвердевании; в середине — при плавлении).

дится замедленно, чтобы удлинить промежуток времени, при котором платина, а, следовательно, и черное тело сохраняют неизменной температуру. Яркость черного тела при этом должна оставаться постоянной. В дальнейшем платина несколько перегревается. После этого она медленно охлаждается, для чего плавно и медленно уменьшается подводимая мощность электрической энергии (рис. 10). Температура опять задерживается при затвердевании (рис. 11). Перед этим платина несколько переохлаждается, что немного затрудняет измерения. На рис. 10 и 11 показана запись самых первых пробных наблюдений.

По спецификации Бюро стандартов при световых измерениях надо добиваться, чтобы затвердевание длилось не меньше 3 мин. Нетрудно значительно удлинить этот срок. Но прямой надобности в этом нет.

Первые измерения яркости нового светового эталона, выполненные Фотометрической лабораторией 24 и 25 октября 1940 г., определили яркость эталона в 58,8 *сб* в световых единицах, ныне действующих в СССР. Это число следует рассматривать, как предварительное, а не окончательное. В ближайшее время измерения будут повторены с гораздо более чистой платиной.

Произведенные до настоящего времени исследования показали, что созданный эталон отвечает своему назначению. Опре-

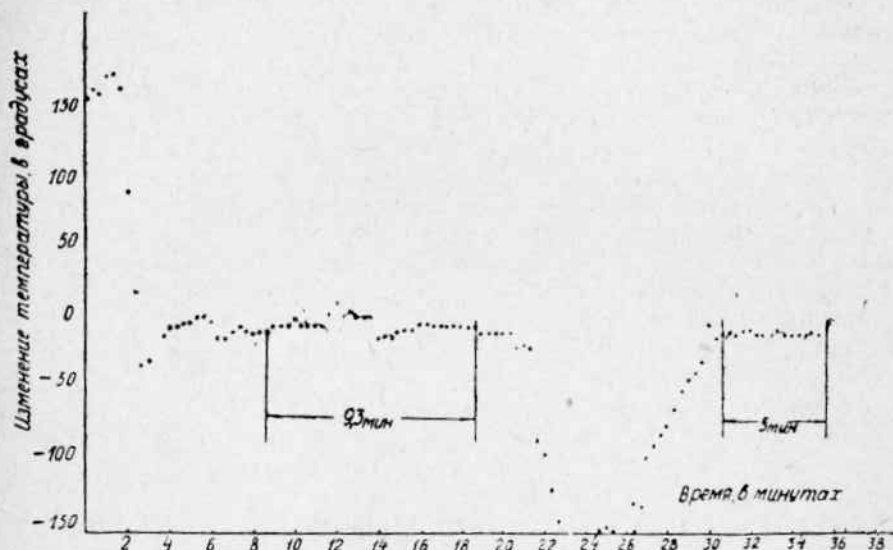


Рис. 11. Первые измерения температуры светового эталона (слева—затвердевание, справа—плавление; на оси ординат точка 0 отвечает температуре затвердевания).

деления точности воспроизведения единицы яркости показали, что она лежит в тех же пределах, как и в метрологических институтах других стран.

Смежные научно-исследовательские работы

Выше были упомянуты почти 20 научно-исследовательских или технологических исследовательских работ, связанных с осуществлением нового основного светового эталона. Дело этим не исчерпывается. Частью одновременно, а частью позже, необходимо выполнить следующие метрологические работы.

А. Отбор наблюдателей

1. Создание установки для определения спектральной чувствительности глаз наблюдателей. Подобная временная установка со всеми измерительными при-

борами сделана и исследована. Способы измерений разработаны и испытаны. Однако, признается необходимым повысить точность измерений за счет улучшения приборов (путем их замены).

Измерительное устройство такое. Рядом с окулярной щелью монохроматора располагалась стеклянная призма полного внутреннего отражения со стороной около 0,8 мм. Наблюдатель видел в окуляре монохроматора два поля, яркость которых надо было уравнивать. Одно поле — от источника света (газополной лампы накаливания в 2 квт), посылающего лучистую энергию в монохроматор. Второе — от молочного стекла, видимого сквозь призму полного внутреннего отражения. Молочное стекло освещалось лампой, перемещаемой по светомерной скамье. Между молочным стеклом и призмой помещался сменный цветной поглотитель (стеклянный или желатиновый), приближавший цвет света от молочного стекла возможно ближе к нескольким мало отличающимся однородным цветам. Всего было применено 14 цветных поглотителей на весь спектр, причем один — малиновый — служил для сравнения фиолетового и красного концов спектра.

Наблюдатель сравнивал поочередно поле от двух однородных пучков света от монохроматора — с окрашенным полем от молочного стекла. Это давало возможность определить отношение яркостей двух однородных пучков света. При помощи термпары (а частью и фотоэлемента) определялось отношение мощностей обоих пучков. В конечном итоге можно было, проделав измерения по всему спектру, определить относительную спектральную чувствительность глаз наблюдателей.

Недостатком этого способа является наличие разноцветных световых измерений, особенно ошутимое в желто-зеленой части спектра; достоинством — последовательное сравнение всех без исключения участков спектра, включая сравнение фиолетового и красного концов его через промежуточный малиновый цвет. В исследованиях других авторов, применявших ранее „способ ступеней“, концы спектров не сравнивались, а сличение смежных однородных частей спектра производилось на отдельных участках, но не сплошь, так что недостающие для вычислений отношения определялись не из непосредственных наблюдений, а — графически из кривой линии (на изготовленном рисунке) для отношений в некоторых участках спектра. Примененный в Фотометрической лаборатории способ измерений пригоден, главным образом, для опытных наблюдателей.

2. Подбор наблюдателей. По решению Консультативного комитета по фотометрии, вполне, конечно, естественному, в световых измерениях принимают участие такие наблюдатели, для глаз которых средняя относительная видность равна международно принятой. Надлежащим образом испытаны глаза у восьми возможных наблюдателей во ВНИИМ. Далеко не все по свойствам своего зрения оказались подходящими.

Б. Вторичные эталоны

3. Подготовлены и испытаны лампы для создания вторичного эталона, горящие при той же цветовой температуре, что и основной эталон— 2046°K .

4. Заготовлен голубой поглотитель (стекло), который по решению Консультативного комитета по фотометрии должен применяться для перехода ко вторичным эталонам, горящим при цветовой температуре около 2360°K . Поглотитель получен от Бюро стандартов США.

Изготовление поглотителя из отечественного стекла — на очереди. От Изюмского завода оптического стекла получены образчики пробной плавки, ожидающие дальнейших испытаний.

5. Измерительная установка для точного определения спектральных коэффициентов пропускания пока осуществлена, как временная, в ожидании получения новых, более совершенных двойных монохроматоров. Измерения производятся при помощи фотоэлементов и термонар. Пока достигнута точность порядка 0,3—1%.

6. Шкала цветových температур для создания вторичных эталонов, а также производных эталонов светового потока при температурах 2360 и 2800°K (как это решено Консультативным комитетом по фотометрии), уже осуществлена. При температуре 2046°K она опирается на новый световой эталон, а далее продолжается помощью голубого стекла, причем промежуточные температуры определяются на основании известной зависимости цветовой температуры вольфрамовых ламп от напряжения питающего тока. Шкала цветových температур ВНИИМ хорошо совпадает со шкалой Бюро стандартов США.

7, 8, 9. Вторичный эталон силы света (освещенности) при цветовой температуре 2360°K , производные первичные эталоны светового потока при температурах 2360 и 2800°K должны быть изготовлены после установления нового основного светового эталона. (На первое время могут быть использованы имеющиеся подобные эталоны, происходящие от существующего основного эталона).

10. Международные сличения. Новый световой эталон предназначен для воспроизведения международных световых единиц, и потому копии его и копии первичных производных эталонов светового потока надлежит направить в Национальную физическую лабораторию Англии (или, может быть, в Международное бюро мер и весов, если его фотометрическая лаборатория к тому времени начнет работать) для международных сличений. Отсылаемые лампы должны быть поверены до отправки и после обратного получения.

Это будет заключительной частью всех работ по установлению нового светового эталона.

Ввиду крайней ответственности всех метрологических работ, связанных с введением новых международных световых единиц

надо принять все меры, чтобы исключить возможность неблагоприятных случайностей и неожиданностей.

Фотометрическая лаборатория для этого недавно (1938—1939 гг.) произвела сличение своих эталонов с эталонами Бюро стандартов США. Зная переходные коэффициенты от прежних к новым международным световым единицам для США, нетрудно определить такие же переходные коэффициенты и для СССР. Другими словами, есть возможность косвенно сличить новые световые эталоны СССР и США. Имеется полное основание ожидать, что переходные коэффициенты от световых единиц, воспроизводимых новым световым эталоном, к ныне действующим световым единицам практически не будут отличаться от единицы (1,00).

Заключение

Изложенное в достаточной мере поясняет, что выполнение всех работ по созданию нового светового эталона потребовало значительного напряжения от ВНИИМ.

Важно подчеркнуть, что завершение работ по переходу к новому световому эталону, в конечном итоге, не только даст СССР более совершенный, чем имеющийся эталон, но и приводит одновременно к таким, весьма существенным, выгодам.

1. Создание образцов платины высокой чистоты, что весьма важно для многих отраслей метрологии (в частности для термометрии).

2. Разработка и освоение нескольких способов для определения чистоты платины, что также имеет чрезвычайно большое метрологическое и непосредственное практическое значения (например, для платиновых термометров сопротивления, для термопар).

3. Установление новой, весьма надежной и высокой реперной точки плавления платины для шкалы высоких температур, что крайне важно для пирометрии.

4. Освоение производства высоко-огнеупорных сосудов (тиглей) для метрологических задач (например, в термометрии) и для технологии (например, получение наиболее чистых металлов или их сплавов, что также важно для многих метрологических работ).

Вместе с тем Фотометрическая лаборатория ВНИИМ обогащается рядом эталонов и измерительных установок (например, спектральных), которые позволят усилить помощь промышленности и увеличить точность измерений (например, впервые осуществляемые поверки на цветовую температуру, точная поверка цветных поглотителей, отбор наблюдателей для световых измерений и т. д.).

Расширение такой помощи уже имеет место на деле.

СССР имеет развитую светотехническую промышленность (включая огромное производство электрических источников света). В СССР имеется ряд обязательных правил и норм для устройства искусственного и дневного освещения. Ежегодно производится много десятков новых исследовательских работ в области источников света, их принадлежностей и применения. Почти две тысячи светоизмерительных ламп находятся в обращении. Наука и практика в области светотехники в СССР развиваются успешно и самостоятельно, причем передовой иностранный опыт также используется.

Изложенное показывает, что СССР должен иметь самостоятельный государственный световой эталон, и этот эталон должен быть таким, каким он международно принят.

Как указывалось, основная часть работ выполнялась Фотометрической лабораторией. Ввиду сложности, ответственности и трудности их почти все выполнялось одновременно несколькими лицами, хотя обыкновенно в разных долях.

Кроме автора статьи, непосредственного участника и руководителя работ, их выполняли: А. М. Сабуренков, К. И. Несмачный, В. Е. Карташевская, Н. И. Пестова, П. С. Васильев, а также М. П. Король. В вопросах химии лаборатория часто пользовалась советами проф. А. К. Колосова.

Радиологическая и Химическая лаборатории ВНИИМ вели работы по очистке окиси тория. Химическая лаборатория ведала очисткой платины. Лаборатория технологии материалов из очищенной „губчатой“ платины готовила палочки для загрузки их в плавильные сосуды светового эталона. Термометрическая лаборатория совместно с Фотометрической определяла температурный коэффициент электрического сопротивления платины.

Оптическая лаборатория наладила спектральное определение чистоты платины.

Фотометрическая лаборатория пользовалась также некоторыми советами В. И. Парвицкого.

Приложение

Собрание Консультативного комитета по фотометрии в 1939 г.

(Дополнительные сведения)

Для дела установления нового светового эталона большое значение имело собрание Консультативного комитета по фотометрии в 1939 г. В журнале „Измерительная техника“ (№ 1, 1940 г., стр. 45—48) автор поместил краткое содержание представленных докладов¹ и некоторые из принятых решений.

¹ Представленные доклады были разосланы заранее и на заседании сообщалось лишь их краткое содержание. В тексте ранее опубликованной статьи редакция журнала не вполне точно указала, что содержание докладов дается по записи автора.

Обмен мнений не был напечатан и этот пробел восполняется ниже. Он был не особенно продолжительным, хотя и содержательным.

Ф. Гофман считал, что черное тело еще нуждается в дальнейшем изучении. Он наблюдал наличие некоторой разности температур порядка 1° во внутренней полости. Ф. Гофман считал необходимым отложить срок перехода к новому эталону.

Г. Корте говорил, что пока не достигнуто международное единство в измерениях светового потока газополных ламп при температуре около 2800°K переходить к новому эталону нельзя.

Перар, Жуо, Криттенден и Уолш настаивали на сохранении прежде установленного срока перехода — 1 января 1940 г.

На вопрос председателя Ш. Фабри — Е. Криттенден ответил, что заметное расхождение в силе света отдельных угольных ламп по измерениям Бюро стандартов и Национальной физической лаборатории (см. табл. 2, левый столбец, верхняя половина) можно объяснить возрастом этих ламп — им около тридцати лет.

П. М. Тиходеев — в связи с сообщением Национальной физической лаборатории о ее способе изготовления эталона светового потока — указал на увеличение светового потока у ламп (некоторых устройств) при их вращении.

А. Перар, отзывавшись одобрительно о докладе ВНИИМ, считал, что вопрос об основной единице не может быть перерешен. Но, учитывая доводы ВНИИМ, он предложил принять дополнительное определение для единицы яркости. Е. Криттенден, дав высокую оценку докладу ВНИИМ и, вполне соглашаясь с его доводами, сказал, что, в силу установившейся традиции, в США единица силы света продолжает считаться основной.

На вопрос К. Цвиккера, где будут выверять свои эталонные лампы страны, которые не имеют у себя основного эталона в виде черного тела, А. Перар ответил, что подобное эталонирование является одной из основных задач Фотометрической лаборатории Международного бюро. Другими членами Комитета было также сказано, что выверка эталонов для стран, не имеющих основного эталона, может производиться — по их желанию — или в каком-либо метрологическом институте, имеющем черное тело, или в Международном бюро.

*П. М. ТИХОДЕЕВ, К. И. НЕСМАЧНЫЙ
И В. Е. КАРТАШЕВСКАЯ*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФИЦИЕНТА ПРОПУСКАНИЯ СВЕТА ПРИЗМЫ И ЛИНЗЫ, ПРИМЕНЯЕМЫХ У СВЕТОВОГО ЭТАЛОНА В ВИДЕ ПОЛНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ (ЧЕРНОГО ТЕЛА)

Введение

Новый световой эталон в виде полного излучателя („черного тела“) применяется для воспроизведения световых единиц так, что измеряется яркость внутренней полости пустой трубочки, погруженной в плавящуюся (точнее—затвердевающую) платину.

Небольшое отверстие, сквозь которое видна полость раскаленной трубочки, изображается при помощи призмы и линзы на испытательной пластинке светомерной головки¹. Для вычисления освещенности изображения отверстия надо знать коэффициент пропускания света призмы и линзы. Приблизительно половина погрешности в воспроизведении световых единиц новым световым эталоном состоит из погрешности измерений этого коэффициента пропускания. Отсюда вытекает необходимость обеспечить наибольшую возможную точность измерения коэффициента пропускания призмы и линзы при совместном их действии. Наличие призмы обусловлено тем, что полую трубочку в жидкой платине возможно держать лишь в отвесном положении. Вместе с тем измерение освещенности от черного тела при отвесном направлении лучей очень неудобно, главным образом потому, что все обычные световые измерения с эталонными лампами приспособлены для горизонтального направления световых лучей. Без призмы—для одной линзы—коэффициент пропускания мог бы быть определен с большей точностью.

Измерения пропускания света оптическими системами, например, в оптических приборах (бинокли, дальномеры и многое другое), довольно часто производятся для практических надобностей, и способы подобных измерений разработаны.

Однако, в применении к эталонным измерениям обычные способы нуждаются в некотором усовершенствовании и, во всяком случае, в очень тщательном выполнении.

Можно думать, что, именно, для световых эталонов некоторых стран и осуществлялись измерения коэффициента про-

¹ См. П. М. Тиходеев, „Создание нового светового эталона в виде полного излучателя“, стр. 5, см. рис. 1. »

пускания с высокой точностью.¹ Однако, отсутствуют описания измерений, достаточно подробные для того, чтобы можно было в полной мере использовать успехи, достигнутые другими исследователями.

В настоящей статье изложение относящихся к поставленной задаче измерений дается, сравнительно, в развитом виде, чтобы тем содействовать дальнейшему накоплению и развитию измерительного опыта.

Описание призмы и линзы

Много разного происхождения стеклянных призм было испытано, прежде чем остановились на двух. Они отбирались на отсутствие свилей, пузырей (мелких), камней (очень мелких) и проч., а равно и на бесцветность. Если взять, например, лист белой бумаги, одинаково освещенный сильным рассеянным дневным светом, и на него положить в ряд на боковую сторону (не диагональную) сравниваемые призмы, то довольно легко выбрать более бесцветную.

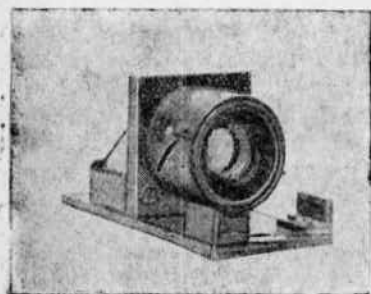


Рис. 1. Линза и призма в оправе.

Другой способ отбора схож со способом подбора цветовой температуры у ламп накаливания и состоит в следующем. На ярком фоне (а с меньшим удобством можно и на светомерной ска-

мье) при помощи светомерной головки с контрастным кубиком подбирается одинаковый цвет света у двух электрических ламп накаливания путем изменения напряжения у одной из них. Затем по пути лучей света от одной из ламп помещается исследуемая призма полного внутреннего отражения. Если она изменяет цвет, то при некотором изменении напряжения можно цвета в светомерной головке сблизить. По относительному изменению напряжения в некоторой мере можно судить о степени окрашенности стекла.

Отобранные призмы полного внутреннего отражения имели сторону в 7 см, чему равнялась и длина пути света в призме. Из них были изготовлены две с меньшими сторонами (катет прямоугольного треугольника основания призмы — 3 см, высота ее — 5 см). Показатель преломления для желтой натриевой линии (0,589 μ) равен 1,517.

Объективная линза склеена из двух: одна двояко-выпуклая, другая вогнуто-выпуклая. Диаметр — около 3,9 см; фокусное расстояние около 27,59 см; толщина склеенной линзы посре-

¹ См. предыдущую сноску.

дине — около 0,87 см. Линза найдена после испытаний удовлетворительной, хотя и не наилучшей из возможных.

Для ограничения пучка света, идущего сквозь призму и линзу, применяется круговое отверстие диаметром 2,0125 см (определялось Лабораторией калибров) и площадью 3,1810 см².

Отражение света поверхностями призмы и линзы

Следует рассмотреть отражение света поверхностями призмы и линзы друг от друга.

Прежде всего обращается внимание на участие отраженного поверхностями света в освещении светомерной головки от

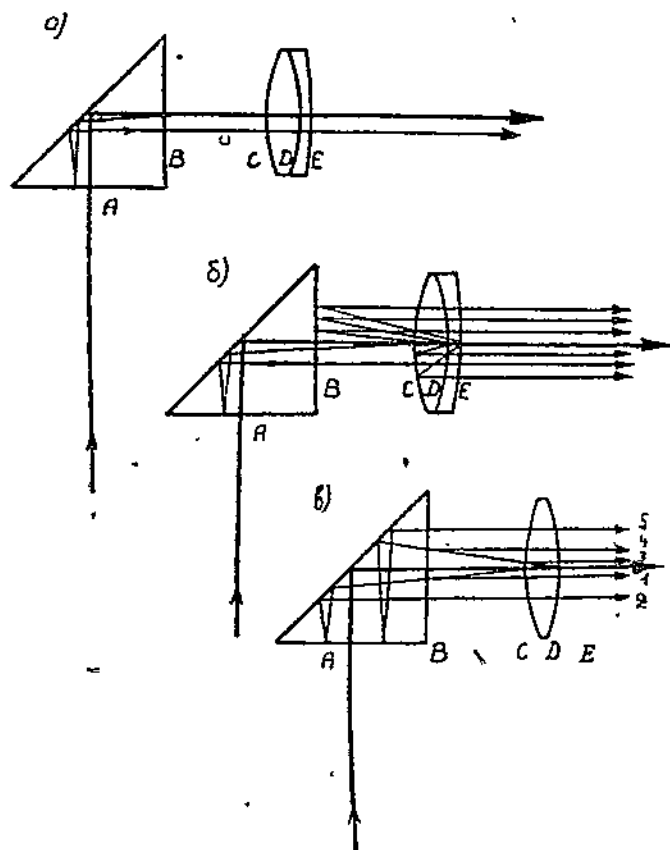


Рис. 2. Отражение света от поверхностей призмы и линзы.

эталона. Свет, отраженный поверхностью *B* (рис. 2-а) в обратном направлении, отражается частично поверхностью *A* в направлении основного луча. Из-за двукратного отражения длина пути отраженного луча увеличится на двойной размер ширины

призмы (на 6 см—если считать в стекле, если же пересчитать на воздух, то удлинение пути составит 3,956 см). Вследствие этого изображение источника света от рассматриваемого отраженного пучка окажется гораздо ближе, чем изображение от основного пучка. А потому к месту основного изображения отраженный пучок света значительно расширится. Опытным путем было установлено, что площадь „вторичного“ изображения в 1,7 раза больше площади основного.

Коэффициент отражения ρ от поверхности призмы при найденном показателе преломления $n=1,517$ составит

$$\rho = \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2 \approx 0,0422.$$

Коэффициент пропускания света призмы, включая все многократные взаимные отражения света от поверхностей, по измерениям определился в 0,908₂. Для линзы такой же коэффициент найден равным 0,892₂. Не встречается особенной надобности в точном определении доли вторичного пучка от основного, так как она достаточно мала. Поэтому можно ограничиться упрощенным вычислением ее.

Если принять световой поток, падающий на призму, за единицу и если считать коэффициент поглощения света в призме $\alpha=0,011_1$, то доля рассматриваемого вторичного пучка после прохода призмы составит:

$$(1-\rho) \cdot (1-\alpha) \cdot \rho \cdot (1-\alpha)^2 \cdot \rho \cdot (1-\rho) = (1-\rho)^2 \cdot (1-\alpha)^3 \cdot \rho^2 = \\ = (1-0,0422)^2 \cdot (1-0,0111)^3 \cdot 0,0422^2 \approx 0,0015_6.$$

После прохождения линзы, найденная доля уменьшится до 0,00158. $0,892 \approx 0,0014_1$. На светомерной головке, находящейся от линзы, примерно, на расстоянии 3,4 м, доля освещенности от вторичного пучка составит 0,0014₁; $1,7 \approx 0,0008_8$.

Последующие многократные отражения света от граней призмы (которые могут быть вычислены по известной формуле Стокса) составят вовсе незаметную долю как в силу малого коэффициента отражения, так и вследствие большего размытия изображения источника света на светомерной головке.

Теперь об отражениях света при наличии линзы. Вторую и третью поверхности линз D и E (рис. 2-б) для простоты рассуждений можно считать за одну DE (рис. 2-в); сумму их коэффициентов отражения можно считать равной коэффициенту отражения от третьей поверхности линзы E по отношению к воздуху. Отраженный назад поверхностями C , D и E свет частично вернется в направлении основного луча после отражения от поверхностей призмы B и A . Отраженный назад поверхностями D и E свет после отражения от поверхностей C , B и A частично вернется в основном направлении. Так как поверхности C , D и E неплоские, то изображения источника света (некоторые действительные, другие мнимые), число которых в первом приближении можно считать равным пяти, после этих отражений располагаются очень близко от линзы.

Их нетрудно наблюдать простым глазом, если смотреть на линзу, сдвинув глаза в сторону от оптической оси. Вследствие этого, на том расстоянии, где находится светомерная головка (при измерениях светового эталона), пучки весьма сильно расходятся. Это легко проверить простым наблюдением глазами: вторичные отражения все еще видны (если не закрыты щитком с отверстием), когда глаза удалены от оптической оси на не-

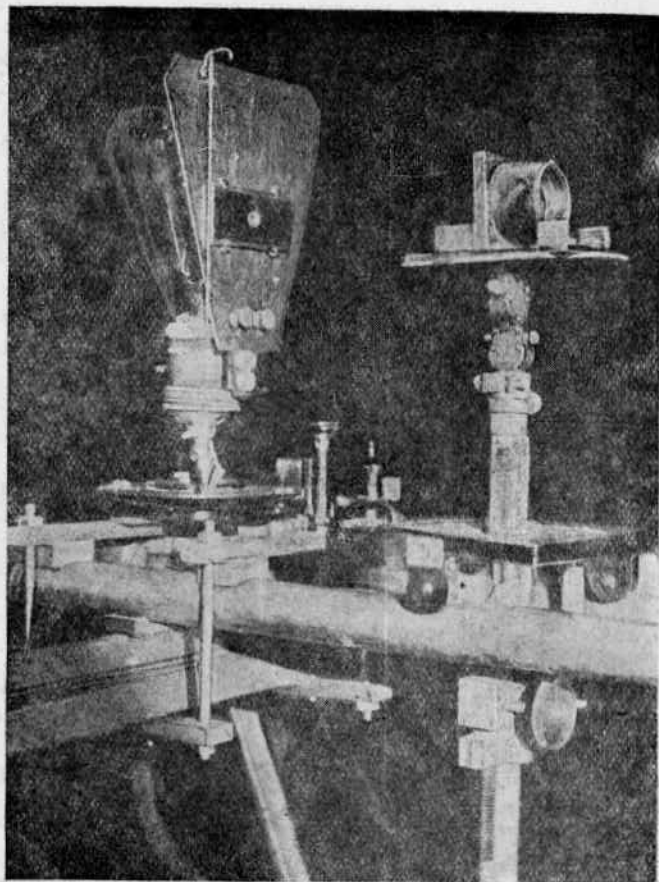


Рис. 3. Источник света при измерениях. Справа—линза.

сколько десятков сантиметров. Это указывает на ничтожность и неощутимость для измерения влияния вторичных отражений света от поверхностей линзы и призмы на освещенность светомерной головки. О последующих многократных отражениях света поверхностями — говорить не приходится.

Если обратить внимание на отражение света в направлении к световому эталону, то нетрудно сообразить, что вследствие

малого отверстия в черном теле (около 0,15 см в диаметре) и относительно (по сравнению с линейными размерами отверстия) большого расстояния от него до отражающих свет поверхностей (20 см и более) увеличение яркости полного излучателя — не ощутимо (см. ниже о добавочной яркости при измерениях коэффициента пропускания).

Определение коэффициента пропускания света по освещенности

Вполне естественно было бы определять коэффициент пропускания света в тех же условиях, в которых призма и линза применяются при измерениях эталона. В первую очередь для этого надо бы иметь источник света с такой же яркостью и таким же относительным распределением энергии в видимой области спектра, как и у нового светового эталона. Сам эталон невозможно использовать для такой надобности. Весьма трудно применить и ленточную вольфрамовую лампу или „точечную“ вольфрамовую дуговую лампу, так как надо иметь вполне одинаковую яркость по круговой поверхности с площадью, может быть, около 20 мм². Приходится искать источник света, который легче осуществить. По неизбежности он не столь близок по яркости и по видимому спектру к эталону, что и приходится считать относительно слабым местом данного способа измерений коэффициента пропускания.

Была применена газополная лампа (рис. 3) с винтовой („спиральной“) нитью, расположенной в одной плоскости: это светоизмерительная лампа типа № 7 (см. ОСТ 8273). Близко к колбе (на расстоянии около 13 мм) располагалось матовое (с двух сторон) стекло и на небольшом расстоянии (около 4 мм) от него — металлический щиток с круглым окном. Края окна сделаны очень острыми, так что они почти не освещены. Площадь окна точно измерена (в Лаборатории калибров). Вторичным источником света является, следовательно, поверхность матового стекла. Его яркость — порядка 30 *сб*.

Для большей надежности измерений было взято два щитка с окнами разных диаметров: 0,5 и 1 см.

Такой источник света помещался на светомерную скамью, причем были заслонены все лучи света, идущие от лампы, кроме тех, которые проходят сквозь окно. Можно вычислить яркость окна (т. е. стекла за окном) по освещенности, измеренной с помощью светомерной головки и лампы сравнения хорошо известным способом. Освещенность измерялась на разных расстояниях (0,9 и 1,1 м), чтобы получить несколько большую уверенность в итогах измерений. Яркость (в произвольных единицах) определялась с вполне достаточной точностью, обычной для световых измерений.

Оставалось не вполне ясным, в какой мере яркость окна во всех точках одинакова. Но это было подтверждено косвенными путями. Во-первых, матовое стекло при повторении измерений

несколько смещалось — это не влияло на измерения. Во-вторых, при измерениях коэффициента пропускания одной линзы или совместно призмы и линзы — изображение окна на испытательной пластинке светомерной головки смещалось в разные стороны, насколько это позволяла возможность заполнения светом полей сравнения. Оказалось, что такое смещение не влияло на измерения.

Измерялся коэффициент пропускания, как порознь призмы и линзы, так и совместно.

Призма помещалась между источником света и светомерной головкой (рис. 4 и 5). Вторая светомерная скамья помещалась накрест с первой. Источник света ставился теперь на второй скамье. На перекрестье находилась призма. Измерения произ-

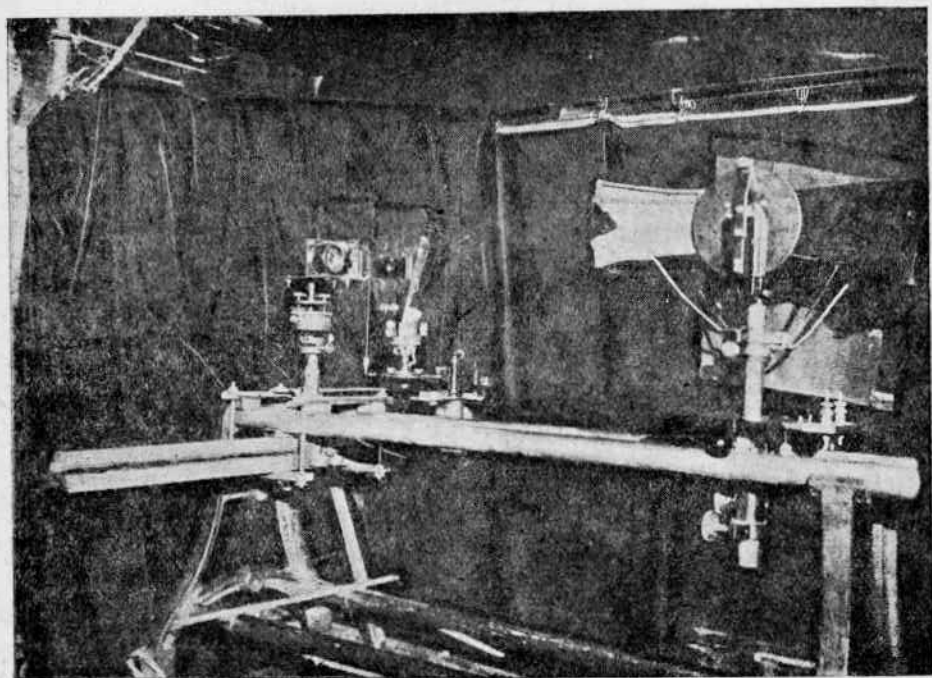


Рис. 4. Измерение коэффициента пропускания по освещенности.

водились опять-таки при разных расстояниях между источником света и светомерной головкой. Коэффициент пропускания τ_n вычислялся по изменению освещенности на испытательной пластинке. В создании освещенности здесь участвовали вторичное и все последующие отражения света от поверхностей призмы. Надо учитывать укорочение расстояния между источником света и испытательной пластинкой при наличии призмы. Длина пути света в призме равна 30 мм, и потому укорочение рас-

стояния определится так (n — показатель преломления стекла):

$$30 \cdot \frac{n-1}{n} = 30 \cdot \frac{1,517-1}{1,517} = 10,22 \text{ мм.}$$

Для определения коэффициента пропускания одной линзы она помещалась на светомерной скамье между источником света

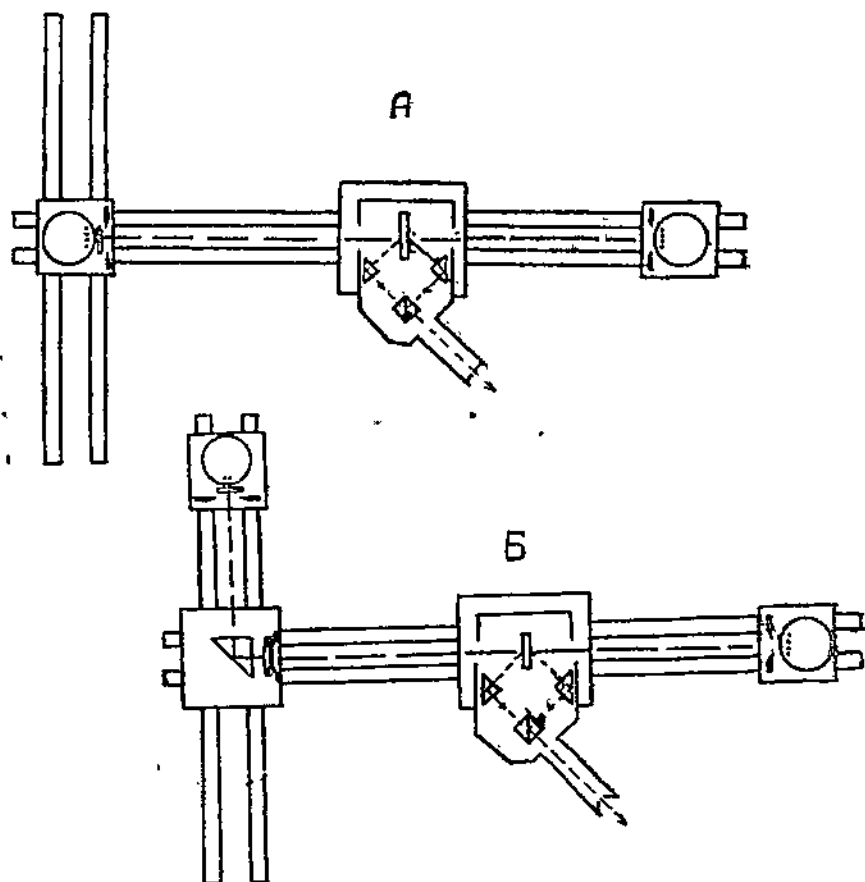


Рис. 5. Расположение приборов.

А—измерения яркости источника света (по освещенности); Б—измерение коэффициента пропускания призмы и линзы.

и светомерной головкой. Коэффициент пропускания вычисляется на основании следующих соображений. Пусть введены обозначения: B — яркость источника света, q — площадь окна, l_1 — расстояние от окна до испытательной пластинки светомерной головки, E_1 — освещенность испытательной пластинки.

На основании закона квадратов расстояний (поправка на размеры окна, т. е. на размеры „неточечного“ источника света исчезающе мала):

$$E_1 = \frac{B \cdot q}{l_1^2} \quad (1)$$

и

$$B = \frac{E_1 \cdot l_1^2}{q} \quad (2)$$

Площадь отверстия (окна), сделанного в виде круга в стальной пластинке, вычислялась по четырем диаметрам. Последние были измерены при температуре в 20° С. Вблизи лампы пластинка нагревается. Для уменьшения нагрева она была никелирована и во время применения обдувалась вентилятором. Повышение температуры измерялось и оказалось равным около 25° С. Надлежащая поправка на увеличение площади отверстия вводилась; она определилась в 0,05%.

Вводятся еще обозначения: τ_x — коэффициент пропускания света линзы, Q — площадь отверстия окна за линзой, l_2 — расстояние между окном у линзы и испытательной пластинкой светомерной головки.

Освещенность E_2 изображения светящегося окна (от источника света), полученного на испытательной пластинке, равна:

$$E_2 = \tau_x \cdot \frac{B \cdot Q}{l_2^2} \quad (3)$$

Это хорошо известная формула справедлива для бесконечно тонкой линзы.

В случае измерения коэффициента пропускания совокупности призмы и линзы [$\tau_{пл}$], формула для вычислений имеет подобный же вид:

$$E_2 = \tau_{пл} \cdot \frac{B \cdot Q}{l_2^2} \quad (4)$$

Как и раньше, E_2 и l_2 — освещенность и расстояние, полученные при измерениях.

Так как линза имеет определенную толщину, то следует выяснить, в какой мере это влияет на вычисления. Наличие линзы вызывает следующее. Вследствие некоторого преломления лучей, они идут сквозь линзу непараллельно ее оси. Вследствие этого как бы увеличивается площадь окна. Надо еще ввести поправки на положение узловых точек линзы (т. е. на точки схода в линзе крайних лучей от предмета и изображения). Еще одна поправка вводится на укорочение пути света в призме (укорочение пути для пучка лучей от каждой точки сквозь окно практически равно укорочению пути крайних лучей от предмета к узловой точке линзы, что учитывается при вводе поправок для определения соотношения между размерами источника света и его изображения).

Как это нетрудно понять (рис. 6), уточненная формула имеет такой вид:

$$E = \tau_{пл} \cdot B \cdot \left(Q \cdot \frac{r_2^2}{r_1^2} \right) \cdot \left[\frac{1}{l_2 + d_1} \cdot \frac{l - d_2 - d_3}{l - d_4 - d_5} \right]^2 \quad (5)$$

Здесь введены такие обозначения: r_1 — радиус окна (в виде

круга), r_2 — радиус окружности, описанной самыми крайними лучами, входящими в линзу, l_0 — расстояние от окна до испытательной пластинки светомерной головки, l — расстояние от источника света до окна, d_1 — расстояние от окна узловой точки для изображения, d_2 — укорочение пути сквозь призму для лучей от источника, вводимое для учета соотношения между размерами источника света и изображения, d_3 — расстояние от окна узловой точки для лучей от источника света, d_4 — укороче-

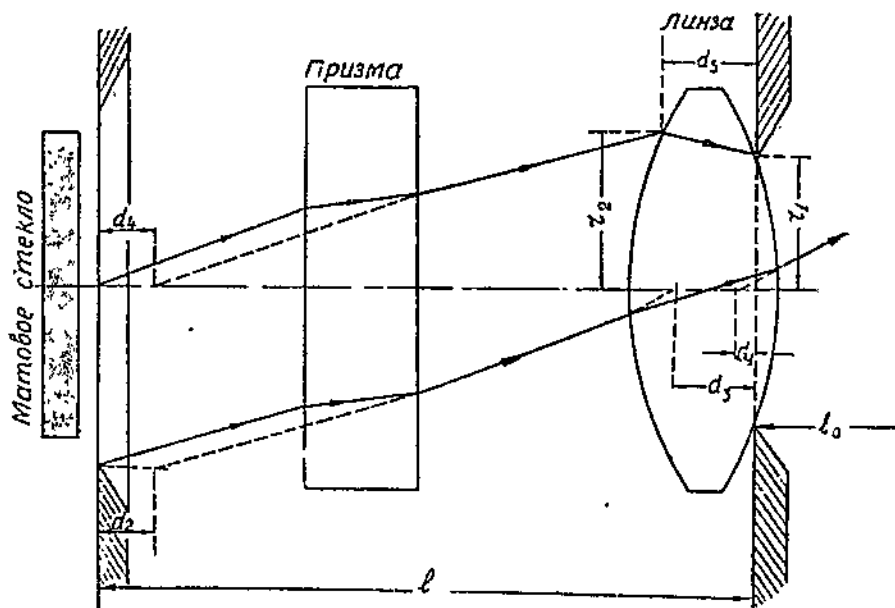


Рис. 6. Ход лучей сквозь призму и линзу.

чение пути сквозь призму для лучей от источника света к линзе, d_5 — толщина линзы на расстоянии r_2 от ее оси.

Надо определять коэффициент пропускания света линзой и призмой при соблюдении тех же расстояний, которые имеют место при измерениях яркости светового эталона. Тогда вычисления по выражениям (4) и (5) дадут одинаковые итоги, и потому естественно пользоваться более простым выражением (4). Это условие не было полностью соблюдено. Поэтому была введена поправка на основе формулы (5). Именно, при измерении светового эталона расстояние от окна до испытательной пластинки равнялось, например, 3381 мм (для некоторых измерений), а при отдельных измерениях коэффициента пропускания — 2710,4 мм. При этом расстояния от источника света до окна соответственно составили 312 и 305 мм.

Числовые значения величин, учитываемых формулой (5) такие: $r_1 = 10,062$; $r_2 = 10,074$ при эталоне и $r_2 = 10,079$ в другом случае; $d_1 = 2,8$; $d_2 = 10,22$; $d_3 = 5,9$; $d_4 = 10,22$ и $d_5 = 8$ (все раз-

меры даны в миллиметрах). Поправка в итоге составляет около 0,05%, что и было учтено (см. ниже).

В конечном счете коэффициент пропускания определяется по отношению освещенностей испытательной пластинки светомерной головки при наличии призмы и линзы и без них. Отношение освещенностей в свою очередь определяется по изменению расстояния до светомерной головки лампы сравнения; поправки на конечные размеры нити накаливания последней — исчезающе малы.

Предполагается при выводе формул (4) и (5), что изображение окна источника света на испытательной пластинке светомерной головки получено строго в фокусе. Достигается это таким приемом. На месте светомерной головки предварительно помещается оптическое плоскопараллельное прозрачное стекло. На поверхности, обращенной к линзе, наносится, какой-либо плоский рисунок. Позади помещается окуляр. Окуляр наводится на рисунок. Затем стекло, вместе с окуляром, находящееся на подвижной тележке, перемещают по светомерной скамье до того места, где наблюдатель, смотрящий в окуляр, найдет наиболее резкое очертание краев окна источника света.

При измерении общего коэффициента пропускания совокупности призмы и линзы источник света ставят на поперечную скамью, как и при измерении коэффициента пропускания одной призмы. Саму призму опять ставят на перекрестье скамей. Вслед за призмой по пути лучей света ставят линзу (см. рис. 4 и 5).

Измерения коэффициентов пропускания призмы и линзы порознь делают для проверки коэффициента пропускания при совместном их действии. Именно, произведение отдельных коэффициентов должно равняться коэффициенту пропускания совместно для призмы и линзы, если применительно к условиям измерений коэффициент пропускания одной призмы уменьшить на относительное значение всех многократных отражений, и прибавить ту часть вторичного отражения, о которой говорилось ранее.

Коэффициент пропускания света τ_n для призмы с учетом всех отражений равен (по известной формуле Стокса):

$$\tau_n = \frac{(1-\rho)^2 \cdot (1-\alpha)}{1-\rho^2 \cdot (1-\alpha)^2} \quad (6)$$

Здесь: ρ — коэффициент отражения от одной поверхности призмы, α — коэффициент поглощения света призмой. Коэффициент пропускания τ_{1n} света, прошедшего только один раз (т. е. без учета многократных отражений), равен:

$$\tau_{1n} = (1-\rho) \cdot (1-\alpha) \cdot (1-\rho) = (1-\rho)^2 \cdot (1-\alpha).$$

Разница между двумя коэффициентами:

$$\tau_n - \tau_{1n} = (1-\rho)^2 \cdot (1-\alpha) \left[\frac{1}{1-\rho^2 \cdot (1-\alpha)^2} - 1 \right].$$

Измерения коэффициента пропускания τ_d дали, как это будет показано ниже, значение 0,9082. Для коэффициента отражения ρ вычисление дает 0,0422. По измерениям получается немного больше для первой поверхности и немного меньше — для второй. Если подставить эти числа в выражение (6), то коэффициент поглощения света в призме оказывается равным 0,011₁. Подставляя это число в выражение (7), можно найти разницу в значениях обоих коэффициентов пропускания: 0,00158. Следует обратить внимание на то, что это число практически не отличается от ранее найденного значения для первого отражения: 0,00158. Учет найденных величин производился.

Описанный способ измерений коэффициента пропускания требует точной и тщательной установки приборов. Это особенно важно для источника света. При перемещении и повороте его, требующимися для наблюдений, весьма важно сохранить прежним направление участвующих в измерениях световых лучей. Установка источника света, призмы, линзы и светомерной головки производится при помощи уровней, отвесов и угольников.

При употреблении матового стекла изображение окна на испытательной пластинке светомерной головки получается чуть-чуть мелко пятнистым. Для ослабления этого явления окно немного отодвинуто от стекла. Так как в светомерной головке применена окулярная лупа (с небольшим увеличением), которая наводится на диагональную плоскость фотометрического кубика, то испытательная пластинка сквозь кубик видна „размытой“ и пятнистость вовсе незаметна.

Определение коэффициента пропускания света по способу яркости

Такой способ на первый взгляд представляется наиболее простым для осуществления и, возможно, даже более точным. Однако, условия измерений здесь заметно отличаются от имеющих место при определении яркости светового эталона.

Коэффициент пропускания, как известно, по этому способу находится по отношению яркости какой-либо поверхности при наблюдении последней сквозь призму и линзу и без нее. Подходящим прибором для таких измерений мог бы явиться яркомер, разработанный в фотометрической лаборатории ВНИИМ¹. Однако, для обеспечения надлежащей точности яркомер был использован лишь частично.

Матовая пластинка из сжатого порошка сернобариевой соли освещалась лампой (типа № 5), горящей при цветовой температуре, достаточно близкой к 2046° К. Пластинка и лампа помещались на поворотной стойке яркомера в конце светомерной скамьи (рис. 7, 8 и 9). Светомерная головка была так выпол-

¹ Описание см. П. М. Тиходеев „Световые измерения“, ОНТИ, 1936, стр. 413—418.

нена, что поверхность упомянутой сернобариевой пластинки являлась одним из полей сравнения. Другое поле — от испытательной пластинки, находящейся в самой головке, — освещалось лампой сравнения, которая была помещена на второй световой скамье, стоявшей наискось (под углом 45°) к первой.

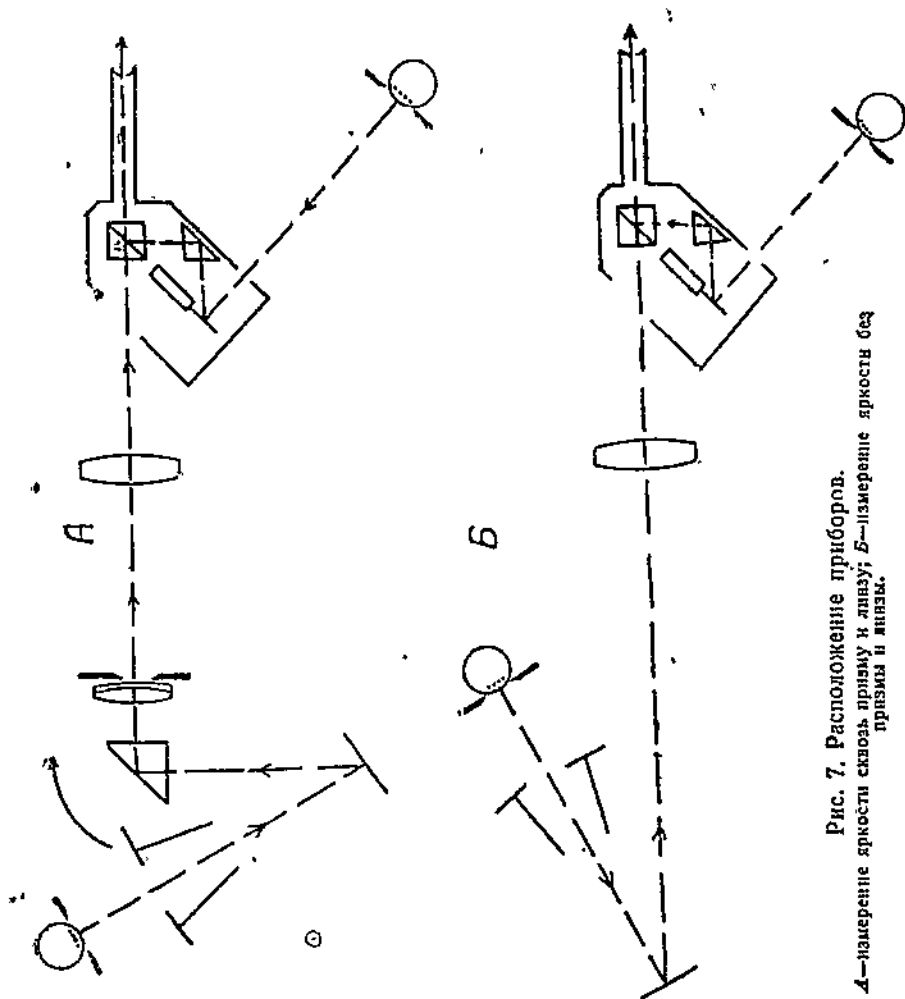


Рис. 7. Расположение приборов.
А — измерение яркости сквозь призму и линзу; Б — измерение яркости без призмы и линзы.

Измеряемые призма и линза помещались на поворотной стойке яркомера, на оси вращения. Можно сказать, что вся измерительная установка в целом являлась своего рода яркомером, отличающимся от ранее разработанного увеличенным размером световой скамьи (и добавлением второй скамьи).

Для точного измерения коэффициента пропускания опять-таки надо разобраться в действии вторичных отражений. Заранее

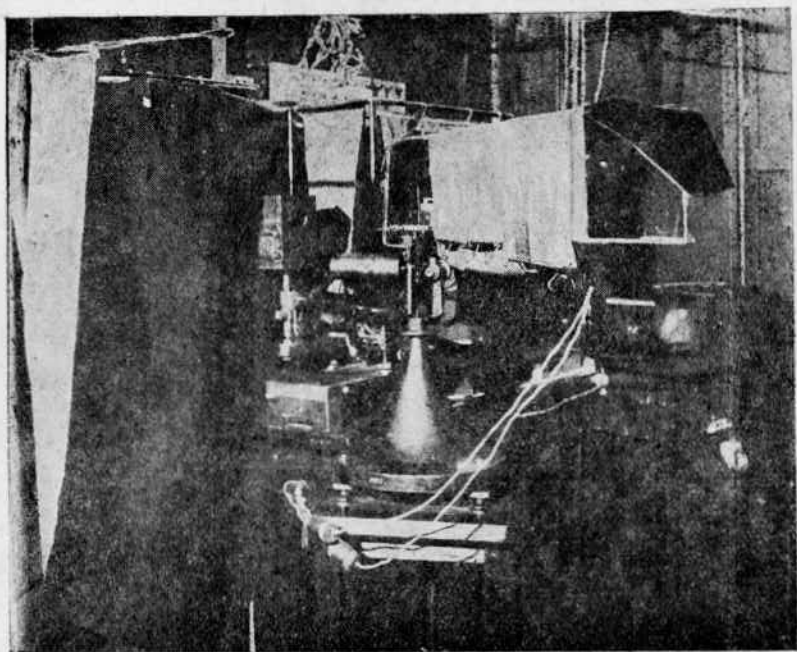


Рис. 8. Яркоммер.

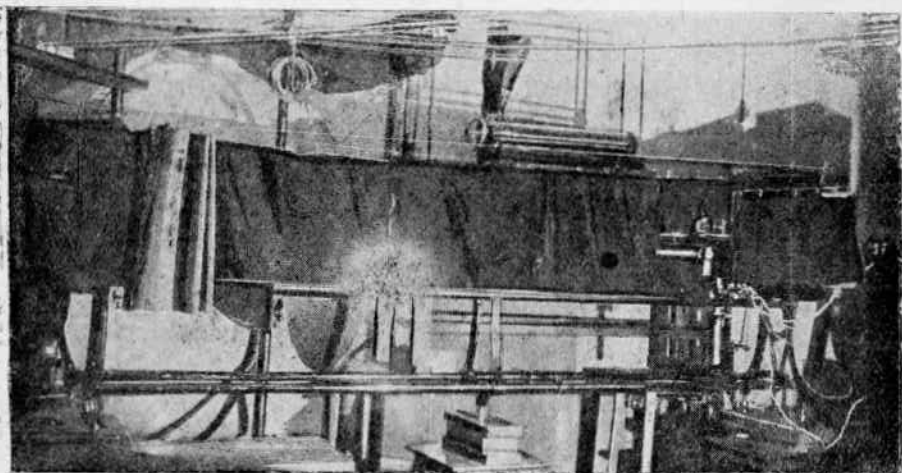


Рис. 9. Установка для определения коэффициента пропускания по яркости.
Справа—поворотная подставка с лампой и измеряемой оптической системой;
в середине—вспомогательная линза на светомерной скамье.

считалось желательным свести это действие к тому, что происходит в измерениях светового эталона. В таком случае необходимо сделать достаточно большим расстояние между измеряемыми предметами и светомерной головкой.

Поля сравнения в головке представляли небольшой круг и кольцо вокруг него. Круг—это сернобариевая пластинка, видимая сквозь фотометрический кубик непосредственно или через измеряемую призму и линзу (порознь или совместно). Окно у линзы имело диаметр около 20 мм. Пластинка была прикрыта черной бумагой (для устранения лишнего света в направлении к призме и линзе) с круглым отверстием диаметром около 13 мм. Чтобы перекрыть полностью внутренний круг полей сравнения фотометра, нужно было применить линзу (объективную) для увеличения изображения рассматриваемой на удаленном расстоянии сернобариевой пластинки. Такая линза имела диаметр около 13 см и фокусное расстояние около 100 см. При измерениях она находилась, примерно, на расстоянии 3,4 м от призмы и линзы, т. е. также далеко, как линза от светомерной головки при измерении светового эталона. Благодаря этому отражение света от второй поверхности призмы (о котором говорилось выше), идущее в основном направлении, доходило до светомерной головки в размытом виде (не в фокусе), а все прочие отражения представлялись в поле сравнения в виде практически неразличимой точки (т. е. пятна весьма малых размеров). Позволительно было вследствие этого считать, что условия измерений в отношении действия вторичных отражений были почти одинаковы с обстановкой измерения светового эталона.

Линза находилась на очень большом расстоянии от светомерной головки. Отражение света от вспомогательной линзы на измеряемую и на фотометрический кубик (и от кубика на линзу) было весьма мало, как вследствие удаленных расстояний, так и потому, что обе поверхности вспомогательной линзы были выпуклые.

Кстати следует заметить, что радиусы наружных поверхностей измеряемой линзы равнялись 14,61 и 44,31 см. Более выпуклая поверхность была обращена к призме, чтобы уменьшить размеры изображений от вторичных отражений.

Измерения коэффициента пропускания выполнялись многократно. В некоторых случаях расстояние от измеряемых предметов до вспомогательной линзы бралось в 270 см. В одном случае была взята другая линза—с фокусным расстоянием 50 см, и применялась она на расстоянии 178 см. Итоги измерений мало отличались. Дополнительно производившиеся измерения на малых расстояниях давали преувеличенные значения для коэффициента пропускания, так как размеры вторичных отражений возрастали и покрывали значительную часть поля сравнения в светомерной головке. Такие измерения не принимались в расчет вследствие некоторых неточностей при учете поправок на вторичные отражения.

Светомерная головка не имела луны в зрительной трубе; последняя была удлиненной.

Были произведены отдельные пробные измерения яркости вторичных отражений в основном направлении. Конечно, эти измерения не могли отличаться большой точностью. Измерения производились переносным люксметром (сравнительно, точным) с малым полем сравнения (луна была удалена); применялся также вращающийся поглотитель (чтобы показания люксметра находились приблизительно на одном месте шкалы, что повышало точность измерений). Во-первых, люксметром измерялась (в относительных единицах) яркость некоторого источника света (газополная лампа, закрытая матовым стеклом) сквозь призму и линзу (с применением вращающегося поглотителя). Во-вторых, измерялась яркость вторичных отражений при отведении линии наблюдений немного в сторону от оптической оси линзы, чтобы эти изображения можно было измерять.

Как указывалось, отчетливо видны пять отраженных изображений. Относительная яркость двух передних (от линзы) совместно — около 0,0044. Относительная яркость трех передних (от линзы) совместно — около 0,0066. Наконец, относительная яркость двух задних отражений (от призмы) совместно — около 0,0034. Таким образом, добавочная яркость в основном направлении составляет около 1%. Это приблизительно совпадает с расчетной величиной.

Надо осветить еще вопрос о добавочном освещении сернобариевой пластинки при наличии призмы и линзы за счет отражения света от поверхностей последних.

Отдельно измерялась относительная яркость изображений пластинки в отраженном поверхностями призмы и линзы свете. Измерения производились переносным люксметром с применением вращающихся поглотителей. Люксметр ставился рядом с сернобариевой пластинкой так, что зеркальное отражение последней от поверхностей призмы и линзы перекрывало поле сравнения. Затем были определены линейные размеры отраженных изображений пластинки (в виде эллипсов), условно отнесенные к расстоянию до передней (ближней) поверхности призмы. Далее вычислялась добавочная освещенность пластинки (и соответственно добавочная яркость) от отраженных изображений ее, как от светящихся эллипсов. Относительная яркость отражения от передней поверхности призмы оказалась равной 0,0044 (вместо 0,0042 по формуле Френеля). Относительная яркость двух отражений от призмы (от передней и задней поверхностей) — 0,0076 (вместо 0,0081 по расчету). Относительная яркость обоих отражений (третье с ними сливается) от линзы (сквозь призму) — 0,0091, а одного переднего отражения — 0,0055. Относительная яркость всех изображений, вместе измеренная, оказалась равной 0,015. Приведенные числа показывают некоторое небольшое внутреннее расхождение (порядка 5%), что вызвано трудностью измерений и отсутствием прямой не-

обходимости повысить точность измерений, как это ниже показывается.

Оказалось после подсчетов, что добавочная яркость пластинки составляет около $0,006 \pm 0,01\%$.

Стекло призмы и линзы в незначительной степени рассеивает свет (вследствие очень мелких пузырей, вкраплений, царапин, несовершенства полировки и т. д.). Это создает добавочную яркость при измерениях яркости сквозь призму и линзу. Возникающий при этом свет вместе с тем дает ничтожно малую освещенность светомерной головки при измерении светового эталона. Не представилось возможным опытным путем измерить такую добавочную яркость. Но простым наблюдением нетрудно было установить, что она заметно меньше яркости каждого отдельного отраженного изображения.

Предыдущее показывает, что коэффициент пропускания, измеренный по способу яркости, должен был бы оказаться несколько больше, чем измеренный по освещенности.

Итоги измерений

Ниже приводится сводка многочисленных измерений.

Коэффициент пропускания призмы и линзы, вместе взятых вычисленный как произведение коэффициентов пропускания призмы и линзы, измеренных порознь, получился, как видно,

	Значение коэффициентов пропускания:		
	по способу освещенности	по способу яркости	среднее
Призма отдельно	0,907 ₀	0,909 ₄	0,908 ₂
Линза	0,891 ₈	0,892 ₆	0,892 ₂
Призма и линза совместно по вычислениям	0,808 ₉	0,811 ₇	0,810 ₈
Призма и линза совместно по измерениям	0,808 ₆	0,811 ₂	0,809 ₉
Исправленное значение . . .	0,809 ₀	0,811 ₁	0,810 ₀

немногим — на 0,05% — более, чем непосредственно измеренный. Это объясняется частичным устранением вторичного отражения света от призмы при совместном действии призмы и линзы (как это разъяснялось ранее).

За основу берутся непосредственные измерения совокупности призмы и линзы. Отдельные измерения коэффициентов порознь выполнялись лишь для подтверждения правильности первых упомянутых измерений. В значение коэффициента пропускания, определенного по освещенности в 0,808₆, надо внести поправку +0,05%, о которой говорилось выше (стр. 39 — из-

менение расстояния при измерениях), вследствие чего значение коэффициента поднимется до 0,809. В значение же коэффициента пропускания по яркости надо внести поправку на добавочную яркость в — 0,01%, что изменит коэффициент до 0,811.

Измерения производились 3—5 наблюдателями. Показания их немного различались, как это обычно для световых измерений, производящихся при помощи глаза.

По каждому способу измерения коэффициент определялся с точностью около $\pm 0,1\%$ (средняя арифметическая ошибка). Расхождение между найденными значениями коэффициентов лежит в пределах точности измерений.

Для измерений со световым эталоном следовало бы взять коэффициент, определенный по освещенности. Вместе с тем другое определение коэффициента производилось при свете, имеющем распределение энергии в спектре, одинаковое со световым эталоном, чего не удалось вполне достигнуть при измерениях, по способу освещенности. Естественно взять при этих условиях среднее из обоих значений коэффициента. Впрочем, выбор значения может быть произведен с учетом и других соображений, относящихся к измерениям и самого светового эталона: данные для других призм и линз, сопоставление с международными измерениями и т. д. Пока световой эталон снабжен двумя оптическими системами из призмы и линзы.

Разумеется, коэффициент пропускания должен по мере необходимости повторно определяться.

Как отмечалось во введении, определение коэффициента пропускания разных оптических приборов (например, биноклей, зрительных труб) нередко производится на практике. Обычно при этом не придается особого значения вторичным (и последующим) отражениям. Однако, если необходимо более точно определять коэффициент пропускания, то их надо учитывать, а способ измерений выбирать такой, при котором действие добавочных отражений в достаточной степени выявляется.

Были произведены пробные измерения коэффициента пропускания и с помощью фотоэлементов. В таком случае возникли следующие затруднения. Фотоэлемент чувствует лучистую энергию разных длин волн иначе, чем глаз. Точная подгонка спектральной чувствительности фотоэлемента к такой же глаза — практически невозможна. Между тем измерения должны вестись в пучке лучистой энергии при наличии призмы и линзы и без них, т. е. при несколько разных спектральных составах лучистой энергии, так как едва ли возможно подыскать призму и линзу с одинаковым спектральным коэффициентом пропускания по той части спектра, которую чувствует фотоэлемент.

Вместе с тем распределение лучистой энергии по поверхности фотоэлемента может оказаться несколько различным при наличии призмы и линзы и без них, так как трудно рассчитывать на одинаковую яркость во всех точках источника света и так

как трудно обеспечить при обоих измерениях падение лучистой энергии на одну и ту же поверхность фотоэлемента. Между тем чувствительность фотоэлемента в разных точках его воспринимающей поверхности неодинакова.

Измерения коэффициента пропускания, произведенные при помощи фотоэлемента, как это и предвиделось, по точности (0,5—1%) оказались значительно ниже, чем при помощи глаза.

Статья составлена П. М. Тиходеевым, непосредственным участником и руководителем работ. К. И. Несмачный преимущественно осуществлял работу по способу яркости. В. Е. Карташевская — преимущественно по способу освещенности. Деятельное участие в работах принимали также А. М. Сабуренков и Н. И. Пестова.

Н. И. ПЕСТОВА, А. М. САБУРЕНКОВ И П. М. ТИХОДЕЕВ

СОСУД ИЗ ОКИСИ ТОРИЯ ДЛЯ ПЛАВЛЕНИЯ ПЛАТИНЫ В СВЕТОВОМ ЭТАЛОНЕ В ВИДЕ ПОЛНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ (ЧЕРНОГО ТЕЛА)

Введение

Принятое Международным комитетом мер и весов устройство нового светового эталона в виде полного излучателя (черного тела) предусматривает плавление платины в сосуде из плавленной окиси тория¹. Бюро стандартов США сравнительно подробно описало разработанные им способы обработки окиси тория и изготовления из нее сосуда с принадлежностями². Бюро стандартов уже много лет занимается изучением разных способов изготовления высокоогнеупорных тиглей. Естественно было поэтому прежде всего пойти по пути, уже изученному, тем более, что в СССР изготовлением столь высоко огнеупорных тиглей еще никто не занимался.

В настоящей статье излагаются сведения, частично известные из работ Бюро стандартов и подтвержденные опытом Фотометрической лаборатории ВНИИМ, так как эти сведения имеют важное научно-практическое значение не только для одной метрологии. Вместе с тем сообщаются некоторые добавления и возможные изменения, полученные в итоге собственных работ.

Изготовление огнеупорных тиглей выходит за рамки обычных работ Фотометрической лаборатории.

Окись тория

Следует напомнить, что для плавления платины взят сосуд из окиси тория потому, что его температурный коэффициент расширения близок к коэффициенту расширения платины. Благодаря этому сосуд выдерживает много плавок, не трескаясь. Вместе с тем при высоких температурах окись тория не загрязняет платину при условии, что сама окись тория ничем не загрязнена.

Бюро стандартов предлагает получать чистую окись тория путем соответствующей переработки из азотнокислого тория.

¹ См. П. М. Тиходеев: „Создание нового светового эталона в виде полного излучателя“, стр. 3.

² См. „Journal of Research“, Bureau of Standards, том 6, июнь 1931 г., стр. 1131—1143.

Такой перевод и был сделан в Радиологической и частично в Химической лабораториях ВНИИМ. Наряду с этим применялась и химически чистая окись тория, полученная от фирмы Беккер (в Лондоне); химически чистый азотнокислый торий был получен от той же фирмы.

Окись тория при нагреве до высоких температур сильно усаживается. Вот почему Бюро стандартов предлагает употреблять плавленную окись тория.

Электрическая дуговая печь для высоких температур

Окись тория плавится при температуре выше 3000°C . Столь высокую температуру можно получить в дуговой электрической печи.

Электроды (угли) печи делают из графита, причем последний должен быть возможно более чистым. Завод „Электро-

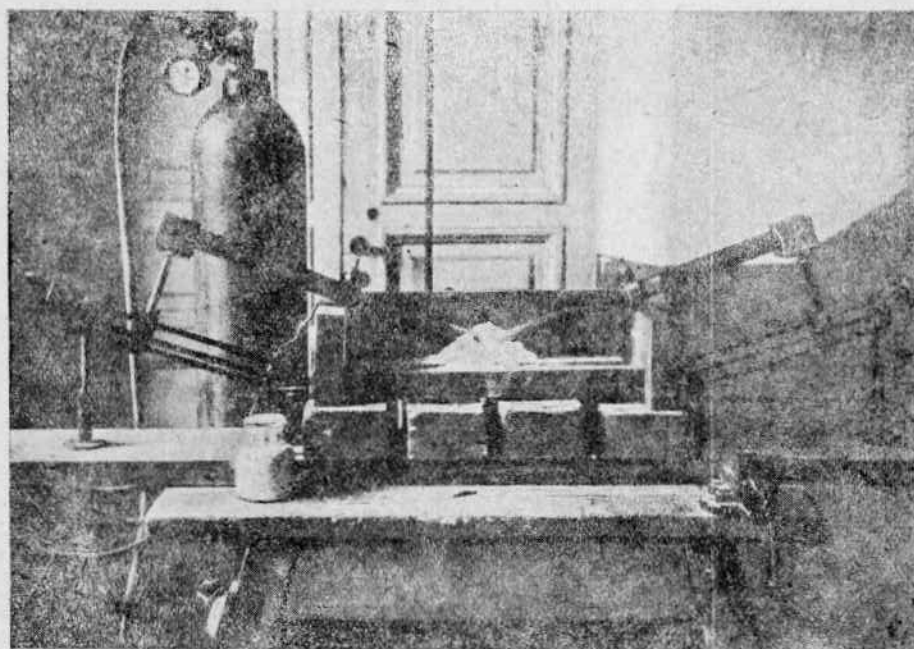


Рис. 1. Электрическая дуговая угольная печь с подачей кислорода.

угли“ (в Кудинове) поставил электроды, предупредив, что содержание золы в них составляет около $1-1\frac{1}{2}\%$.

Предполагалось, что возможность загрязнения окиси тория из-за золы — сомнительна вследствие условий расплавления (см. далее).

Диаметр углей был взят $1,9-2,0$ см; длина — $30-35$ см, что по видимому несколько мало, так как угли быстро сгорают.

Печь обложена кругом графитовыми плитами, толщиной около 4 см. Внутренняя полость печи (рис. 1) составляла $10 \times 10 \times 30$ см.

Чтобы обеспечить сгорание углерода, в частности, распыляемого нагретыми углями, в печь подается кислород сквозь электроды. Для этого вдоль оси в последних сделано отверстие диаметром около 0,3 см. Из обычного баллона через редукционный клапан кислород подается под давлением порядка 0,5—0,8 ат (сверх атмосферного). Графитовые угли довольно быстро сгорают: приблизительно, 60 см длины угля за 1 час. Впрочем, плавка идет быстро. Предполагается, что при кислородном дутье печь имеет несколько более высокую температуру, чем без него. Кислород в сильной степени уменьшает возможность образования карбидов. Карбиды тория, как известно, образуются в случае непосредственной близости углерода и окиси тория, притом при температуре более 1200°C.

Возникли опасения, что подача кислорода сквозь электроды, сильно ускоряя их износ, не вполне благоприятна с точки зрения возможной чистоты плавки. В связи с этим был испробован иной способ подачи. Именно, не сквозь электроды, а через 2 графитовые трубки, расположенные в печи перпендикулярно линии электродов. Дуга горит спокойнее, электроды сгорают гораздо медленнее. Однако, опытов с такого рода печью было произведено еще недостаточно, чтобы можно было определенно утверждать об ее преимуществах.

Дуга питается переменным током. Бюро стандартов указывает силу тока в 200 а и напряжение питающей сети 220 в, причем на дугу приходится около 120 в. Фотометрическая лаборатория могла получить энергию лишь из сети в 120 в. Сила тока применялась 120—160 а, редко возрастающая до 200 а. На самих электродах напряжение было 50—70 в. Плавка окиси тория оказалась вполне возможной. Но, конечно, при напряжении в сети в 220 в дуга была бы более устойчива и в печи выделялась бы большая мощность, что облегчило бы плавку.

Плавление окиси тория

Перед зажиганием дуги — угли сведены. Неплавленная окись тория насыпается в печь в количестве 1,5 кг и более. При малом количестве окиси тория — тепловая изоляция недостаточна, температура в печи ниже и плавка идет труднее. После засыпания и включения печи угли немного раздвигают и дуга загорается. Примерно, через 1 мин. пускается кислород, постепенно, чтобы не загасить дугу. Сила тока может быть установлена сразу, для чего в электрической цепи помещается реостат переменного сопротивления.

В течение 10—15 мин. дуга не требует сближения углей, так как она устойчиво горит и при расстоянии между ними до 10—12 см.

При плавке окись тория начинает быстро оседать. В случае

необходимости новая засыпка добавляется сверху. Графитовым углем окись тория с боков пододвигается к середине — притом сверху. Выдувание окиси тория наблюдается, главным образом, в самом начале плавки; впоследствии оно становится незначительным. Выбивающаяся наружу струя кислорода и продуктов сгорания обтекает электроды. Это ускоряет их сгорание. Сгорание происходит также и внутри электрода, из-за чего в конце его (у дуги) отверстие увеличивается раза в два и стенки угля становятся совсем тонкими. Это и заставило подумать об изменении способа подачи кислорода.

Через 10—15 мин. после начала плавки угли надо сблизить, примерно, на 6 см, если дуга питается от сети в 120 в.

В течение 1 часа можно получить около 1 кг сплавившейся окиси тория (при дополнительных подсыпках), причем останется еще часть спекшейся, но не сплавившейся, а часть — в прежнем



Рис. 2. Плавленные окись магния и окись тория.

состоянии. Плавленной окиси тория получается около одной трети. Остальную можно продолжать плавить, причем лучше всего — с добавлением новой неплавленной.

Сплавившаяся окись тория представляет собою стекловидную толстостенную трубку неровного очертания, охватывающую дугу. Окись тория, как видно, доводится до жидкого состояния. Снаружи к трубке пристают, в виде сильно пористого тела, кусочки спекшейся окиси тория, подвергавшейся, очевидно, воздействию не столь высокой температуры, как вблизи дуги (рис. 2). Плавная окись тория и спекшиеся кусочки — розоватого цвета.

В производившихся до сих пор опытах толщина сплошного слоя плавной окиси тория была от 2 мм (при кратковременной — например, 15 мин. — плавке, и умеренном токе) до 10 мм (при длительной — 30—40 мин. — плавке и большем токе). Слой изоборожден трещинами и легко раскалывается на куски.

В дальнейшую обработку отбирались куски чистые, прозрачные. Отбрасывались куски мутно-желтого цвета (карбиды) и темные (засоренные графитом).

Спекшаяся, но не сплавившаяся в сплошной кусок, окись тория в дело не применялась. Впрочем, она, повидимому, также может применяться, хотя бы в качестве засыпки для тепловой изоляции.

Карбиды и вкрапления углерода образуются вблизи углей. Верхняя часть трубки над дугой — вроде сводика — оказывается наиболее чистой. Могут возникнуть опасения, что мелкие частицы карбидов и углерода попадут в плавленную окись тория. Однако, дальнейшая обработка окиси тория устраняет такое загрязнение (см. ниже).

Окись тория — довольно дорогое вещество. В связи с этим приходится заботиться о возможном уменьшении отходов. Загрязненная окись тория может быть очищена заново известными химическими средствами (с помощью серной, щавелевой кислот и т. д. или переводом в азотиокислый торий). Так как загрязнение вызывается, главным образом, карбидами и графитом, то освобождение от них не представляет труда. Именно, окись тория (с примесями) обращается в порошок. Последний заливают время от времени сменяемой дистиллированной водой. Карбиды при этом разложатся, с выделением окиси тория (неплавленной). Затем порошок прокаливают в подходящей печке с умеренным доступом воздуха при температуре 800—900°C. Графит — выгорает. Незначительная примесь неплавленной окиси тория к плавленной — не имеет существенного значения для дальнейшего. Если же примеси неплавленной окиси тория оказывается заметное количество, то всю смесь надо заново плавить.

На дне печного пространства остается загрязненная карбидами и углеродом окись тория, которая может служить подстилкой для многих плавов.

Дробление окиси тория

Куски плавленной окиси тория надо превратить в порошок, не загрязняя. Однако, эти куски довольно тверды. Бюро стандартов применяет стальную шаровую мельницу. Фотометрическая лаборатория испытала такой способ. Оказалось, что из-за высокой твердости окиси тория шарики и стенки мельницы сильно стираются. Конечно, примесь железа можно удалить многократной промывкой соляной кислотой (и затем водой). Но возникают опасения, что из стали кроме железа могут попасть и другие примеси, которые нельзя удалить указанной промывкой. Фотометрическая лаборатория предпочла получить порошок путем размельчения в обычной ступке Абиha.

Загрязнение железом здесь также происходит, но в гораздо меньшей мере. В незначительной степени Фотометрическая лаборатория пользовалась добавочным растиранием в агатовой или яшмовой ступке. Но это считается нежелательным из-за опасения загрязнений, хотя бы и очень ничтожных.

В дальнейшую переработку должен идти лишь очень мелкий порошок — проходящий сквозь сито в 100 меш, т. е. 1600 отверстий на 1 см², что соответствует размеру зерна не более

0,15 мм (по предложению Бюро стандартов). Фотометрическая лаборатория пользовалась таким ситом. Но все же сквозь него проходят и сравнительно крупные частички, которые вполне пригодны для сосуда и крышки, но едва ли приемлемы для внутренней трубочки. Образчик порошка плавленной окиси тория, полученный от Бюро стандартов, на ощупь казался много мельче такого, который удовлетворял бы только требованию о прохождении сквозь сито в 100 меш.

Впоследствии Фотометрическая лаборатория нашла более удобным применять другой способ отборки мелкого порошка. После ступки Абиха порошок взмучивается в дистиллированной воде. Более крупные частицы быстро падают на дно, более мелкие — замедленно. Взмученная вода — без осадка — выливается в воронку с фильтровальной бумагой. На фильтровальной бумаге оказывается весьма мелкий порошок, идущий в дальнейшую переработку. Крупный порошок вновь идет в ступку Абиха.

Отобранный мелкий порошок до тех пор кипятят в сменяемой соляной кислоте, пока не будет удалено железо. После этого окись тория многократно промывают дистиллированной водой. Наконец, ее сушат и прокаливают еще раз при температуре 800—900°C из предосторожности. Теперь из этой окиси тория можно изготовлять нужные сосуды.

Форма для изготовления сосудов и принадлежностей

Сосуд делают из порошка таким способом, при котором необходимо иметь форму; в нее набивается порошок. Возникает необходимость принять предупредительные меры, чтобы сосуд

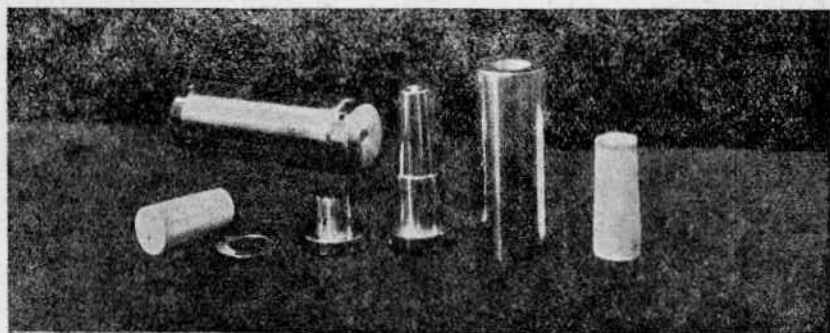


Рис. 3. Форма для прессования сосудов (в собранном и разобранном виде).

не загрязнился. Бюро стандартов советует применять формы из графита. Вместе с тем оно указывает и на стальные хромированные формы.

Имея в виду изготовить сосуды возможно более плотными, Фотометрическая лаборатория в первую очередь испытывала метал-

лические формы. Встретились некоторые производственные затруднения с получением хорошей хромированной поверхности во внутренней части формы. В связи с этим вместо углеродистой стали, покрытой хромом, была испробована нержавеющая сталь с большим содержанием хрома и никеля (марки ЭЖ-2) без хромирования, а также латунь (рис. 3).

При изготовлении сосуда порошок увлажняется водным раст-

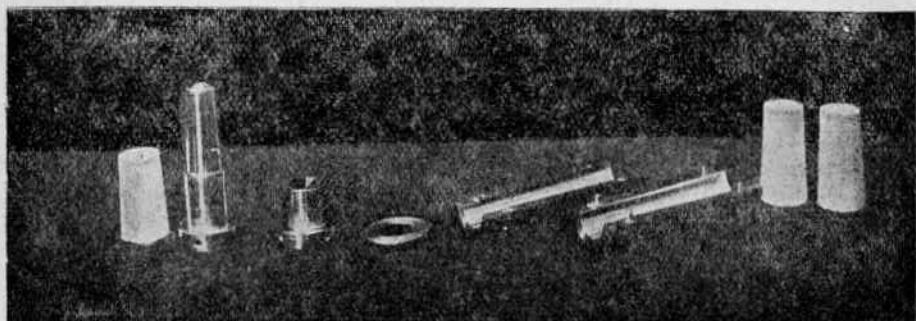


Рис. 4а. Разъемная форма для прессования тиглей (составные части).

вором хлористого тория. Из-за последнего форма может ржаветь, потому и необходимо делать ее из такого вещества, которому не опасно действие кислоты (хлористый торий действует окислительно; кроме того, возможно присутствие

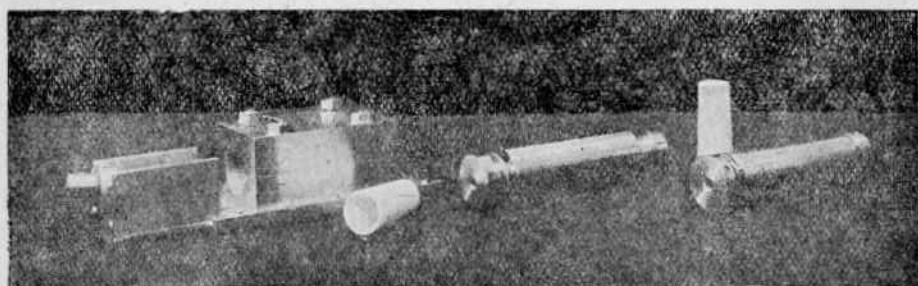


Рис. 4б. Разъемная форма для прессования тиглей (слева—обжим для скрепления; справа—собранный форма).

свободной соляной кислоты). Формы из нержавеющей стали и из латуни могли оказаться удовлетворительными, но не наилучшими, при условии очень быстрого изготовления сосуда. Латунь могла стираться при работе из-за сравнительной твердости порошка.

Наконец, форма была сделана разъемной, из нержавеющей стали (рис. 4). Она была хорошо хромирована и удовлетворительно отполирована. В такой форме легче наблюдать за сохран-

ностью поверхности. Хромированная поверхность достаточно тверда и на ней не остается заметных царапин, что дает основание считать или отсутствующим или же весьма слабым засорение стенок сосуда веществом формы.

Фотометрическая лаборатория опасалась заметного засорения сосуда графитом, в случае применения формы из последнего. При этом частички графита могли попадать и в толщу. Правда, при последующем прокаливании сосуда до $800-1000^{\circ}\text{C}$ графит должен был выгореть, но могли сохраниться разные примеси к графиту. В связи с этим решено было произвести опыты с формой из самшита.

Отдельные наблюдения показали, что при выгорании самшита (в печи с температурой около 900°C) легкой золы остается всего $0,2-0,3\%$ (т. е. примерно, в 6 раз меньше чем в имевшемся графите). Это позволяет считать, что соринки выгорают при прокаливании, причем следы пепла могут быть выдуты.

Пока еще не могло быть достаточно большого опыта, чтобы вполне определенно отдать предпочтение какой-либо форме.

Изготовление сосуда (рис. 5)

В форму с одного конца, именно, со стороны дна постепенно насыпают порошок окиси тория, сильно уминая его торцом небольшой плоской палочки из самшита. Порошок делается сырым от увлажнения водным раствором хлористого тория. Водной раствор — насыщенный: в 1 г хлористого тория (ThCl_4) добавляют дистиллированную воду до общего объема 5 мл. На сосуд идет около 50 г плавленной окиси тория, и на это количество — около 20–25 капель водного раствора.

Раствор хлористого тория прибавляется для связи. После высыхания сосуд получает некоторую прочность, необходимую для дальнейшей его обработки. Добавка хлористого тория выгорает при дальнейшем прокаливании.

Сосуд вынимают из формы с некоторым трудом, так как он пристаёт к стенке наружной части формы. Внутренняя стенка сосуда, сравнительно, легко отстает от срединной части формы: последняя перед выниманием сосуда может быть повернута вокруг своей оси, что и сопровождается отставанием без нарушения целостности сосуда. После поворачивания среднюю часть

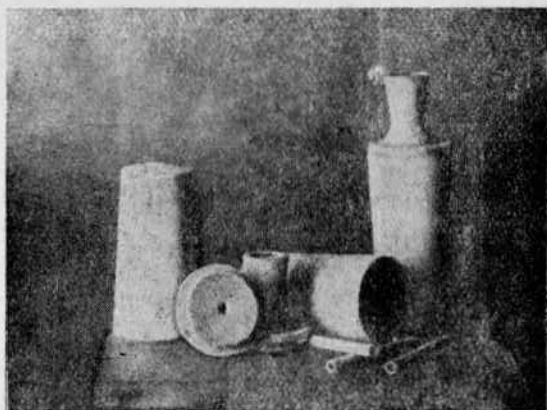


Рис. 5 Сосуды, крышки с конусами к ним и трубочки для наблюдений.

формы (пестик) вынимают, а сосуд выталкивают деревянной вставкой со стороны дна.

Есть предложение увлажнять порошок лишь дистиллированной водой, либо другой улетучивающейся жидкостью. Тогда сосуд почти не пристает к стенкам формы и гораздо легче вынимается. Вместе с тем форма не подвергается окислительному действию, и возможность загрязнения сосуда почти отпадает. Однако, сосуд получается совсем непрочным. В дальнейшем надо его осторожно и постепенно увлажнять раствором хлористого тория (по каплям из капельницы). Этот способ еще не достаточно испытан.

Изготовление трубочки

Из порошка плавенной окиси тория, увлажненного водным раствором хлористого тория, изготовляют тесто в виде тонкой лепешки.

Стальная хромированная палочка, размеры которой отвечают внутренним размерам трубочки, обертывается тонким слоем плотной папиросной бумаги, конец которой приклеивается целлулоидом. Эта трубчатая покрывка должна легко сходить со стальной палочки.

Тесто накатывают на палочку вместе с покрывкой и раскатывают по стеклянной пластинке, посыпанной небольшим количеством порошка окиси тория. Раскатывание производят до получения внешнего размера трубки. Конец стальной палочки немного сужен. Здесь тесто уминается для образования днышка.

После высыхания изготовленной таким образом из окиси тория трубочки — она без труда сходит со стальной палочки, но бумажная покрывка остается внутри. Последняя затем осторожно сдирается. Надо иметь в виду, что бумага выгорает, давая ничтожное количество легко сдуваемого пепла. Поэтому не нужно особенно опасаться, что бумага внесет какие-либо загрязнения, поскольку трубочка подвергается в дальнейшем обжигу.

Крышка и конус вверху ее изготовляются порознь путем уминания увлажненного раствором хлористого тория порошка окиси тория в стальных хромированных (или деревянных) формах. Изготовление их не представляет особенных затруднений. После высыхания конус приклеивают к крышке. Для этого предварительно изготовляют тестообразную палочку из увлажненной окиси тория. Конус ставят на крышку, а палочку обгибают кругом места соприкосновения. Затем палочку разминают для лучшего прилипания к крышке и конусу.

Обжиг сосуда и принадлежностей

Сосуд и принадлежности, предварительно высушенные (например, на электрической плитке или в сушильном шкафу), помещают в кварцевый стакан с неплотной крышкой. Все это

вместе ставят в электрическую печь (например, из „фехраля“) с температурой, медленно повышающейся до 1100—1200°C. Эта температура поддерживается не менее одного часа. При этом выгорает то, что могло бы пристать из деревянной формы.

Сосуд и другие принадлежности спекаются и получают достаточную прочность. При постукивании они звенят.

После этого наружные поверхности можно еще почистить несколько более крупным порошком окиси тория, если существует опасение загрязнения поверхности от металлической формы.

Тогда же можно пригнать друг к другу размеры сосуда, трубочки и крышки.

Для предосторожности можно еще раз после этого обжечь сосуд с принадлежностями при температуре до 1100—1200°C.

Не представляет затруднений произвести обжиг и при более высокой температуре — 1550°C — в молибденовой печи.

Существует мнение, что дальнейший обжиг не требуется, так как при осторожном (т. е. медленном, плавном и без пере-рывов) плавлении платины сосуд само собою получит необходимый дополнительный обжиг. Действительно, проделанный опыт как будто подтвердил такую возможность. К сожалению, испробован был лишь один сосуд.

Другие считают более осторожным производить обжиг до температуры в 2100°K. Слабым местом в этом случае является некоторая опасность в отношении возможности загрязнения сосуда чем-либо, проникшим из окружения.

Обжиг до такой температуры производят следующим образом.

Берут графитовую трубку высотой около 13—15 см с внутренним диаметром 5,0—5,5 см и толщиной стенок — не менее 5 мм. Дна и крышки нет. В трубку помещают обжигаемый сосуд из окиси тория, неплотно закрытый крышкой. Все пространство между внутренней стенкой трубки и сосудом наполняют порошком плавной, плотно умятой, окиси магния.

Графитовую трубку вместе с содержимым помещают в обмотку высокочастотной индукционной печи. Ее ставят на толстый слой неплавленной окиси магния, окружают кварцевой трубкой, причем между стенками их остается воздушное пространство шириною около 5 мм. Кварцевую трубку сверху неплотно прикрывают высокой крышкой, например, из кварца.

Нагревание производят постепенно (примерно, в течение 1,3—1,5 часа). Температура в 2100°K должна держаться, повидимому, не менее 0,5 часа.

Вверху засыпки из окиси магния оставляют осевое отверстие, доходящее до крышки сосуда, в котором имеется свое отверстие. Через эти отверстия при помощи оптического пирометра можно время от времени проверять температуру.

Окись магния вблизи графита спекается, что свидетельствует о достижении температуры порядка 2200°K. По мере обжига спекающийся слой растет. Надо, чтобы он не дошел до сосуда, так как иначе его нелегко освободить от припекшейся окиси

магния. Спекание можно допустить, приблизительно на двух третях слоя засыпки. Тонкую проволоку из платины применяют в качестве щупа, которым определяют состояние спекания.

После обжига сосуды дают медленно остывать во избежание трещин.

Трудно рассчитывать, чтобы при обжиге сосуд во всех своих частях получил одинаковую температуру. Однако, применение таких сосудов показало, что ничего неблагоприятного не происходит.

Если бы после обжига был обнаружен какой-либо налет на самой верхней части сосуда (где в него входит крышка), то это могло бы свидетельствовать, что предельная чистота изготовления еще не достигнута. Однако, не исключено, что налет являлся следом посторонних примесей, которые и удалены при последнем обжиге. Полезно все же обработать сосуд соляной кислотой с последующим промыванием водой.

К сожалению, пока не найдено простых способов, чтобы судить о совершенной чистоте сосуда после того, как изготовление и обжиг вполне закончены.

Лишь после плавки платины при применении светового эталона, по сохранности чистоты платины можно считать, что сосуд оказался на уровне предъявляемых требований.

Трубочка из окиси тория для обжига может помещаться в графитовой трубке рядом с сосудом при небольшом между ними слое окиси магния.

Дополнительные замечания

1. Плавленая окись магния получается при сплавлении обычной окиси магния в графитовой печи, описанной в начале. Кислородное дутье излишне. Карбиды не образуются.

2. Для светового эталона не требуется многих сосудов. Вследствие этого все дело изготовления сосудов при всей его трудности и сложности ведется как бы кустарным способом. Ограниченное количество имевшейся окиси тория не давало возможности ставить необходимые исследования достаточно широко.

3. Поскольку сосуды требовались для весьма ответственной эталонной задачи — отдельные части работ выполнялись часто самостоятельно и повторно несколькими участниками; в некоторых случаях — напротив — выполнялись совместно.

На долю А. М. Сабуренкова выпала большая часть работы. В работах с дуговой печью и некоторых других принимал участие К. И. Несмачный.

Проф. А. К. Колосов помогал советами и критикой в области химических вопросов.

П. М. ТИХОДЕЕВ

ХРАНЕНИЕ СВЕТОВЫХ ЭТАЛОНОВ В 1938—1940 гг.¹

Эталоны единицы силы света (освещенности)

Основной световой эталон, зажигавшийся последний раз в 1938 г., вновь потребовалось зажечь в 1940 г. как для очередного сличения с ним вторичных эталонов, так и для сравнений световых единиц СССР и США.²

Третья часть вторичного эталона, обозначаемая II-3, состоит из ламп конструкции ВНИИМ, изготовленных в СССР (по типу № 3, ОСТ 8273). Они оказались вполне удобными для выполнения поверочных работ. Решено было увеличить число таких ламп в этой части эталона; включены лампы: II-3-11, II-3-12, II-3-13, II-3-14, II-3-15 и II-3-16.

Четвертая часть вторичного эталона, обозначаемая II-4, была образована в 1938 г. Она считалась условно включенной, так как в ее состав пришлось ввести лампы, недостаточно предварительно изученные.

Условия измерений сохранились теми же, какими были в 1938 г. Участвовало в световых измерениях четверо наблюдателей, из которых трое принимали участие и в измерениях 1938 г.

Итоги измерений приведены в табл. 1, 2 и 3. Итоги световых измерений удовлетворительны. Однако, лампы четвертой части (II-4) вторичного эталона показали заметное отклонение — 0,7%. Общая продолжительность их горения за 1938-1940 гг. составляет всего около 3 час., так что отклонение не может быть объяснено износом ламп от употребления. Надо иметь в виду, что сличение этих ламп с основным эталоном происходило в условиях разноцветных световых измерений, что могло, вероятно, повлиять на некоторое расхождение измерений. Лишь дальнейшие наблюдения за поведением этих ламп могут помочь вынести о них более правильное суждение. До рассматриваемого сличения 1940 г. лампы II-4 не применялись для ответственных измерений. Впоследствии они применялись для проверки светоизмерительных ламп (рабочих, а не образцовых) совместно с лампами II-3, при чем наблюдалось полное совпадение показаний, если пользоваться данными сличений 1940 г.

¹ Предшествующие работы напечатаны в сборнике: „Исследования в области светоизмерительных ламп и световых эталонов“. Труды ВНИИМ, вып. 23 (39), 1939.

² „Сравнение световых единиц СССР и США“, стр. 72 настоящего сборника.

Основной световой эталон СССР.

Обозначение ламп	Сила света, в международных свечах				Разница в силе света 1940 г., в % по отношению к данным			Сила
	1925 г.	1935 г.	1938 г.	1940 г.	1925 г.	1935 г.	1938 г.	
1-A-1	20,06	19,85	19,91	19,84	-1,1	-0,0	-0,3	0,2858 ₇
1-A-2	19,84	19,90	19,84	19,92	+0,4	+0,1	+0,4	0,2873 ₇
1-A-3	20,54	20,61	20,55	20,53	-0,0	-0,4	-0,1	0,3871 ₀
1-A-4	20,08	20,11	20,04	20,07	-0,1	-0,2	+0,1	0,2869 ₈
1-A-5	20,00	20,13	20,12	20,17	+0,9	+0,2	+0,3	0,2869 ₀
1-A-6	20,33	20,26	20,39	20,32	-0,1	+0,3	-0,4	0,2881 ₅
В среднем для одной лампы:					±0,4	±0,2	±0,3	
В среднем для всех ламп:					—	—	—	
1-A-7	19,38	—	19,33	19,37	-0,1	—	+0,2	0,2864 ₄
1-A-8	19,73	—	19,62	19,62	-0,6	—	±0,0	0,2856 ₈
1-A-9	21,13	—	21,26	21,19	+0,3	—	-0,4	0,2884 ₂
1-A-10	20,71	—	20,75	20,70	-0,1	—	-0,3	0,2880 ₆
1-A-11	20,06	—	20,02	20,05	-0,0	—	+0,1	0,2872 ₉
1-A-12	20,34	—	20,39	20,44	+0,5	—	+0,3	0,2892 ₂
В среднем для одной лампы:					±0,3	—	±0,2	
В среднем для всех ламп:					—	—	—	

Вторичный эталон международной свечи¹.

Обозначение ламп	Сила тока, в международных свечах			Разница в силе света 1940 г., в % по отношению к данным		Сила тока, в	
	1935 г.	1938 г.	1940 г.	1935 г.	1938 г.	1935 г.	1938 г.
II-3-2	33,1 ₅	33,2 ₂	33,1 ₆	+0,0	-0,2	0,4696 ₀	0,4701 ₄
II-3-3	33,7 ₈	33,8 ₄	33,7 ₄	-0,1	-0,3	0,4682 ₄	0,4692 ₁
II-3-4	34,1 ₄	34,2 ₈	34,1 ₇	+0,1	-0,3	0,4700 ₅	0,4705 ₁
II-3-6	32,9 ₆	32,9 ₇	32,9 ₈	+0,0	+0,0	0,4667 ₀	0,4672 ₀
В среднем для одной лампы:				±0,1	±0,2		
В среднем для всех ламп:				+0,0	-0,2		
II-4-1	—	103,9	102,9	—	-1,0	—	1,4002
II-4-2	—	101,6	101,4	—	-0,2	—	1,3998
II-4-3	—	105,1	104,3	—	-0,8	—	1,4079
II-4-4	—	96,7	95,7	—	-1,1	—	1,4020
II-4-5	—	99,6	99,2	—	-0,4	—	1,4034
В среднем для одной лампы:				—	-0,7		
В среднем для всех ламп:				—	-0,7		

¹ Одна из ламп этого эталона II-3-5 вышла из употребления в 1939 г. вслед

Таблица 7

Измерения 9 и 10 марта 1940 г.

тока, в амперах			Разница в силе тока 1940 г. в % по отношению к данным			Отклонения отдельных наблюдателей в измерениях силы света 1940 г., в %			
1935 г.	1938 г.	1940 г.	1925 г.	1935 г.	1938 г.	1-й	2-й	3-й	4-й
0,2856 ₂	0,2858 ₁	0,2856 ₂	-0,09	±0,00	-0,07	-0,0	+0,0	-0,3	+0,3
0,2871 ₀	0,2872 ₈	0,2870 ₅	-0,11	-0,04	-0,08	-0,0	-0,2	+0,1	+0,1
0,2869 ₄	0,2869 ₄	0,2866 ₉	-0,14	-0,09	-0,09	+0,6	-0,4	-0,1	-0,1
0,2868 ₄	0,2864 ₆	0,2866 ₂	-0,12	-0,08	+0,06	-0,3	+0,1	-0,0	+0,2
0,2866 ₉	0,2868 ₄	0,2866 ₁	-0,09	-0,02	-0,07	-0,4	+0,3	+0,5	-0,3
0,2879 ₇	0,2880 ₂	0,2878 ₃	-1,11	-0,05	-0,07	+0,2	+0,2	-0,2	-0,2
			-0,11	-0,04	±0,07	±0,2	±0,2	±0,2	±0,2
			-0,11	-0,04	-0,05	±0,0	±0,0	±0,0	±0,0
—	0,2864 ₈	0,2862 ₀	-0,07	—	-0,09	-0,2	-0,0	+0,0	+0,2
—	0,2857 ₇	0,2855 ₅	-0,03	—	-0,08	+0,2	-0,2	+0,4	-0,4
—	0,2883 ₇	0,2882 ₁	-0,07	—	-0,06	-0,0	-0,1	+0,3	-0,2
—	0,2881 ₀	0,2878 ₅	-0,07	—	-0,09	-0,1	+0,2	-0,1	±0,0
—	0,2872 ₇	0,2870 ₃	-0,08	—	-0,07	-0,0	+0,0	+0,0	-0,0
—	0,2892 ₀	0,2889 ₀	-0,11	—	-0,10	+0,1	-0,1	-0,1	-0,1
			-0,07	—	-0,08	±0,1	±0,1	±0,2	±0,2
			-0,07	—	-0,08	±0,0	-0,0	+0,1	-0,1

Измерения 9 и 10 марта 1940 г.

Таблица 2

амперы	Разница в силе тока 1940 г., в % по отношению к данным		Продол- жит. горения за 1938—1940 г.	Отклонения отдельных наблюдателей в измерениях силы света 1940 г., в %			
1940 г.	1935 г.	1938 г.	в часах	1-й	2-й	3-й	4-й
0,4698 ₂	+0,03	-0,07	10,7	+0,4	-0,2	+0,1	-0,4
0,4689 ₇	+0,16	-0,05	9,7	+0,7	-0,2	+0,6	-1,1
0,4700 ₉	+0,01	-0,09	9,4	+0,9	+0,0	-0,5	-0,5
0,4569 ₅	+0,05	-0,07	9,3	+1,1	-0,3	-0,5	-0,4
	+0,06	-0,07		+0,8	±0,2	±0,4	-0,6
	+0,06	-0,07		+0,8	-0,2	-0,0	-0,6
1,3997	—	-0,04	2,9	-0,1	+0,8	-0,6	-0,1
1,3995	—	-0,02	3,1	+0,3	+0,2	-0,3	-0,2
1,4076	—	-0,02	2,6	+0,1	-0,1	+0,3	-0,4
1,4015	—	-0,04	2,7	+0,0	±0,0	-0,1	+0,0
1,4026	—	-0,06	3,1	-0,2	-0,2	+0,0	+0,3
				±0,1	±0,3	±0,3	±0,2
				+0,0	+0,1	-0,1	-0,1

ствие самопроизвольного обрыва нити.

Таблица 3

**Новые лампы вторичного эталона международной свечи
Измерения 9 марта 1940 г.**

Обозначение ламп	Сила света, в международных свечах	Сила тока в амперах	Отклонение отдельных наблюдателей в измерениях силы света, в %			
			1-й	2-й	3-й	4-й
И-3-11	34,9 ₃	0,4740 ₆	+0,2	+0,3	+0,1	-0,6
И-3-12	35,3 ₆	0,4760 ₆	+0,1	+0,5	+0,4	-0,1
И-3-13	34,2 ₄	0,4707 ₇	+0,1	-0,2	-0,1	+0,2
И-3-14	34,9 ₆	0,4741 ₇	+0,1	+0,1	+0,8	-0,9
И-3-15	34,7 ₆	0,4748 ₂	+0,2	-0,4	+0,1	+0,1
И-3-16	35,0 ₄	0,4759 ₄	+0,1	+0,1	+0,3	-0,5
В среднем для одной лампы:			+0,1	±0,3	±0,3	±0,6
В среднем для всех ламп:			+0,1	+0,1	+0,3	-0,5

Первичный эталон люмена СССР

Обозначение ламп	Световой поток, в люменах				Разница в световом потоке 1940 г., в % по отношению к данным			Сила
	1928 г.	1935 г.	1938 г.	1940 г.	1928 г.	1935 г.	1938 г.	
П-1-12	410	409	412	407	-0,7	-0,5	-1,1	0,5002 ₁
П-1-13	412	411	411	413	+0,3	+0,4	+0,4	0,4987 ₂
П-1-14	417	417	416	416	-0,3	-0,2	-0,1	0,5014 ₁
П-1-15	416	416	416	417	+0,3	+0,3	+0,2	0,5031 ₀
П-1-16	411	413	412	412	+0,2	-0,1	-0,0	0,5002 ₇
П-1-17	417	418	416	418	+0,2	+0,1	+0,6	0,5022 ₀
В среднем для одной лампы:					±0,3 ₄	±0,2 ₆	±0,3 ₀	
В среднем для всех ламп:					—	—	—	
П-1-31	1930 г. 1689	—	1690	1691	+0,1	—	+0,0	1930 г. 1,5657
П-1-32	1737	—	1736	1742	+0,3	—	+0,4	1,5476
П-1-34	1748	—	1757	1772	+1,3	—	+0,8	1,5550
П-1-35	1699	—	1694	1695	-0,2	—	+0,0	1,5626
П-1-36	1737	—	1722	1717	-1,1	—	-0,3	1,5567
П-1-37	1758	—	1769	1751	-0,4	—	-1,0	1,5577
В среднем для одной лампы:					±0,5 ₀	—	±0,4 ₂	
В среднем для всех ламп:					—	—	—	

Как уже указывалось, лампы П-4 в 1938 г. зачислялись во вторичный эталон лишь предварительно и условно, что пока сохраняет свою силу и впредь.

Электрические измерения, выполнявшиеся в 1938 г. и повторенные в 1940 г., хорошо совпали как раз для ламп II-4 и не вполне хорошо — для остальных ламп, включая и основной эталон.¹ Возникает предположение, что имело место не изменение ламп, а наличие незначительной и необнаруженной погрешности в электрических измерениях. Опять-таки лишь последующие измерения могут помочь выяснить суть дела. При употреблении впоследствии ламп II-3 после сличения как 1938, так и 1940 г., подтверждались скорее измерения 1940, а не 1938 г.

Естественно также предположить, что в действительности и точность электрических измерений меньше, чем ожидается. Ответ на это можно получить, главным образом, из международных измерений. Такие измерения, приблизительно одновременно выполненные при сличениях эталонных ламп ВНИИМ и Бюро стандартов США², все же не дают вполне ясной картины. Но тем не менее можно считать, что истинное значение силы тока определяется, во всяком случае, с точностью не меньшей, чем $\pm 0,03\%$, а точность внутрилабораторная и относительная, разумеется, выше.

Таблица 4

Измерения 3 и 4 марта 1940 г.

тока, в амперах			Разница в силе тока 1940 г., в % по отношению к данным			Отклонение отдельных наблюдателей в измерениях светового потока 1940 г., в ‰			
1935 г.	1938 г.	1940 г.	1928 г.	1935 г.	1938 г.	1-й	2-й	3-й	4-й
0,4999 ₀	0,5001 ₃	0,4994 ₄	-0,15	-0,09	-0,14	+0,3	-0,0	-0,1	-0,1
0,4986 ₄	0,4989 ₁	0,4983 ₇	-0,07	-0,05	-0,11	+0,2	-0,4	+0,3	-0,1
0,5016 ₄	0,5017 ₉	0,5010 ₇	-0,07	-0,11	-0,15	+0,3	+0,2	-0,4	-0,1
0,5028 ₈	0,5030 ₈	0,5023 ₀	-0,14	-0,09	-0,13	-0,3	+0,1	-0,1	+0,3
0,5002 ₉	0,5006 ₉	0,5002 ₄	-0,01	-0,01	-0,09	-0,2	-0,1	+0,5	-0,3
0,5016 ₈	0,5019 ₈	0,5014 ₈	-0,16	-0,05	-0,10	-0,3	+0,2	-0,2	+0,3
			-0,10	-0,07	-0,12	$\pm 0,3$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,2$
			-0,10	-0,07	-0,12	+0,0	-0,0	+0,0	-0,0
—	1,5655	1,5654	-0,02	—	-0,01	+0,8	$\pm 0,0$	-0,4	-0,4
—	1,5475	1,5471	-0,03	—	-0,03	-0,4	$\pm 0,0$	+0,6	-0,2
—	1,5552	1,5538	-0,08	—	-0,09	+0,0	-0,1	-0,1	+0,2
—	1,5631	1,5628	+0,01	—	-0,02	+0,2	-0,4	+0,1	+0,1
—	1,5567	1,5558	-0,06	—	-0,06	-0,4	+0,1	-0,1	+0,3
—	1,5584	1,5585	+0,05	—	+0,01	-0,1	+0,4	-0,1	-0,1
			$\pm 0,04$	—	$\pm 0,03$	$\pm 0,3$	$\pm 0,2$	$\pm 0,2$	$\pm 0,2$
			-0,02	—	-0,03	+0,0	+0,0	-0,0	+0,0

¹ Лампы II-4 измерялись с одной образцовой катушкой сопротивления, а прочие — с другой.

² См. статью об этом на стр. 72 настоящего сборника.

Вторичный эталон люмена. Измерения 15 марта 1940 г.

Обозначение ламп	Световой поток в люменах		Разница в световом потоке 1940 г. по отношению к данным 1928 г., в %		Сила тока, в амперах		Разница в силе тока 1940 г. по отношению к данным 1928 г., в %	Продолжительность горения за 1928—1940 гг., в часах	Отклонения отдельных наблюдений в измерениях светового потока (1940 г.), в %			
	1928 г. ¹	1940 г. ¹			1928 г. ¹	1940 г. ¹			1-й	2-й	3-й	4-й
ПА-2-1	159	159	+0,0		0,2032 ₄	0,2032 ₀	-0,02	4,6	+0,3	-0,7	-0,0	+0,4
ПА-2-2	163	164	+0,1		0,2062 ₂	0,2061 ₀	-0,06	4,5	-0,0	-0,0	-0,5	+0,5
ПА-2-3	163	165	+1,2		0,2071 ₃	0,2070 ₇	-0,03	5,2	-0,3	-0,1	-0,1	+0,5
ПА-2-1	161	162	+0,5		0,2057 ₈	0,2056 ₅	-0,06	3,6	+0,3	-0,2	-0,0	-0,0
ПА-2-3	162	161	-0,8		0,2056 ₀	0,2055 ₉	-0,03	2,9	-0,1	-0,8	-0,1	+1,0
В среднем для одной лампы:			±0,5				-0,04		±0,2	-0,4	-0,1	±0,5
В среднем для всех ламп:			+0,2				-0,04		+0,0	-0,4	-0,1	+0,5

¹ В 1928 г. поддерживалось напряжение 106,89 в, в 1940 г. — 107,00 в.

Вторичный эталон люмена. Измерения 3 марта 1940 г.

Обозначение ламп	Световой поток в люменах		Разница в световом потоке 1940 г. по отношению к данным 1938 г., в %	Сила тока в амперах		Разница в силе тока 1940 г. по отношению к данным 1938 г., в %	Продолжительность горения за 1939—1940 г. в часах	Отклонения отдельных наблюдений в измерениях светового потока 1940 г., в %			
	1938 г.	1940 г.		1938 г.	1940 г.			1-й	2-й	3-й	4-й
ПВ-2-54	1576	1569	-0,4	1,1968	1,1968	±0,00	1,0	+0,8	-0,4	-0,4	-0,8
ПВ-2-55	1578	1555	-1,5	1,1996	1,1988	-0,07	1,0	+0,6	+0,3	+0,1	-1,0
ПВ-2-56	1442	1424	-1,2	1,1660	1,1655	-0,04	0,9	+0,2	+0,7	-0,7	-0,1
ПВ-2-57	1366	1364	-0,0	1,1615	1,1612	-0,03	1,0	+0,6	+0,6	-0,7	-0,5
ПВ-2-58	1359	1344	-1,1	1,1415	1,1407	-0,07	0,8	+0,6	-0,1	-0,3	-0,2
ПВ-2-59	1564	1546	-1,2	1,2045	1,2043	-0,02	—	+1,1	+0,5	-0,5	-1,1
В среднем для одной лампы:			-0,9			-0,04		+0,6	±0,4	±0,5	-0,6
В среднем для всех ламп:			-0,9			-0,04		+0,6	+0,4	-0,4	-0,6
ПВ-2-60	3393	3450	+1,7	2,2340	2,2325	-0,07	—	+1,0	+0,5	-0,3	-1,2
ПВ-2-61	3340	3396	+1,7	2,2273	2,2264	-0,04	—	+1,0	-0,3	-0,1	-0,7
ПВ-2-62	3356	3404	+1,4	2,2544	2,2531	-0,06	—	+0,8	+0,5	+0,2	-1,5
ПВ-2-63	3353	3408	+1,6	2,2303	2,2290	-0,06	—	+0,7	-0,2	-0,7	+0,2
ПВ-2-64	3384	3454	+2,1	2,2295	2,2283	-0,06	—	+0,6	+0,4	-0,4	-0,6
ПВ-2-65	3408	3482	+2,2	2,2243	2,2222	-0,10	—	+0,4	+0,4	+0,1	-0,9
В среднем для одной лампы:			+1,8			-0,06		+0,8	±0,4	±0,3	±0,8
В среднем для всех ламп:			+1,8			-0,06		+0,8	+0,2	-0,2	-0,8

Новые лампы вторичного эталона люмена. Измерения 4 марта 1940 г.

Обозначение ламп	Световой поток, в люменах		Разница в световом по- токе 1940 г. по отно- шению к данным 1938 г., в %	Сила тока, в амперах		Разница в силе тока 1940 г. по отношению к данным 1938 г., в %	Отклонения отдельных наблюдате- лей в измерениях светового потока 1940 г., в %				
	1939 г. ¹	1940 г.		1938 г.	1940 г.		1-й	2-й	3-й	4-й	
1-й пайок	ПБ-III-1	469	470	+0,1	0,5685 ₈	0,5676 ₀	-0,16	+0,5	+0,4	-0,6	-0,3
	ПБ-III-2	478	479	+0,1	0,5726 ₀	0,5726 ₀	+0,01	±0,0	+0,4	-0,1	-0,2
	ПБ-III-3	474	474	-0,0	0,5698 ₄	0,5698 ₂	-0,00	+0,5	+0,4	-0,7	-0,1
	ПБ-III-4	474	473	-0,2	0,5701 ₂	0,5700 ₂	-0,02	-0,3	+0,3	+0,2	-0,3
	ПБ-III-5	470	474	+0,9	0,5707 ₆	0,5704 ₇	-0,05	+0,4	+0,1	-0,4	-0,2
	В среднем для одной лампы:			±0,3			±0,05	±0,3	±0,4	-0,2	
	В среднем для пяти ламп:			+0,2			-0,04	+0,2	+0,3	-0,3	-0,2

2-й пикок	ПБ-III-6	475	473	-0,5	0,5722 ₈	0,5722 ₁	-0,01	+0,3	+0,0	-0,5	+0,1
	ПБ-III-7	468	470	+0,3	0,5707 ₀	0,5701 ₀	-0,10	+0,5	+0,0	-0,1	-0,5
	ПБ-III-8	480	476	-0,7	0,5722 ₁	0,5720 ₉	-0,02	+0,1	-0,1	+0,2	-0,3
	ПБ-III-9	475	476	+0,0	0,5685 ₂	0,5688 ₈	-0,06	+0,1	+0,3	-0,0	-0,3
	ПБ-III-10	476	477	+0,4	0,5715 ₃	0,5714 ₆	-0,01	+0,4	+0,1	-0,6	+0,2
	В среднем для одной лампы:			±0,4			±0,04	+0,3	±0,1	±0,3	±0,3
	В среднем для пяти ламп:			-0,1			-0,02	+0,3	+0,1	-0,2	-0,2
	В среднем для одной лампы:			±0,3			±0,01	±0,3	±0,2	±0,3	±0,2
	В среднем для десяти ламп:			+0,1			-0,03	+0,3	+0,2	-0,3	-0,2
	СП-II-20	1. 455 2. 452	457	1. +0,4	1. 0,5501 ₂ 2. 0,5496 ₄	0,5497 ₇	1. -0,06 2. +0,02	-0,3	+0,2	+0,1	-0,1
	СП-II-21	1. 444 2. 440	445	1. +0,3	1. 0,5479 ₈ 2. 0,5470 ₇	0,5472 ₈	1. -0,14 2. +0,03	-0,3	+0,2	+0,1	-0,1
	В среднем для одной лампы:			+0,3			1. -0,10 2. +0,03	-0,3	+0,2	+0,1	-0,1
	В среднем для двух ламп:			+0,3			1. -0,10 2. +0,03				

1 В 1938 г. группа ламп с ПБ-III-1 по ПБ-III-10 считалась с вторичным эталоном люмена. Лампы СП-II-20 и СП-II-21 считались в 1938 г. двойки: 1) с первичным эталоном люмена и 2) с вторичным.

Эталоны единицы светового потока

Часть ламп первичного эталона единицы светового потока потребовалось зажечь для сличения с ними тех ламп, которые были в Бюро стандартов США для сравнения единиц светового потока СССР и США. Это зажигание было использовано также для очередной поверки части ламп вторичного эталона и для его пополнения.

Перед этим лампы первичного эталона зажигались в 1938 г. Предварительно, но не окончательно, вторичный эталон для второй части эталона люмена был пополнен тогда шестью газополными лампами ПВ-2 с 54 по 59 и еще шестью ПВ-2 с 60 по 65. Лишь первые пять ламп за годы 1938-1940 применялись и каждая протерла в общей сложности около 1 часа. Остальные семь ламп в дело не употреблялись.

Итоги измерений приведены в табл. 4, 5, 6 и 7.

Световые измерения для всех ламп можно считать удовлетворительными, кроме ламп ПВ-2 с 60 по 65. Для последних имеется заметное отклонение по сравнению с измерениями 1938 г., вследствие чего лампы в эталон не вводятся и будут, возможно, подвергнуты дальнейшему изучению.

Электрические измерения показывают удовлетворительное совпадение в значении сил токов, найденных в 1940 и в предшествующие годы. Однако, заметное отклонение обнаруживается для ламп первой части первичного эталона люмена. Отклонение от измерений прежних лет в среднем составляет 0,1%, что выходит за желательный предел — около 0,05%. Объяснений этому пока не найдено, но считается, что если отклонения не являются следствием некоторого понижения точности электрических измерений, то они могут иметь причину в известной ограниченности устойчивости силы тока ламп. Вместе с тем считается по всем прочим признакам, которые, конечно, могут быть только косвенными, что световой поток эталонных ламп не подвергся ощутимым изменениям. Именно, разнообразные сопоставления световых измерений ламп: II-1-12, II-1-13, II-1-14, II-1-15, II-1-16 и II-1-17: между собой, с 17-ю лампами вторичного эталона и с 6-ю лампами, посылавшимися в Бюро стандартов США¹, не приводят ни к каким противоречиям со многими измерениями прошлых лет (или к заметным отклонениям от измерений прошлых лет). Впрочем, надо еще вспомнить, что эталонные лампы, о которых идет речь, не имеют жесткого крепления нити к крючкам; это может являться одной из причин того, что электрические токи в них не отличаются значительным постоянством.

Подытоживая теперь уже пятнадцатилетние наблюдения за поведением большого числа (более 200) эталонных ламп и еще большего числа поверяемых светоизмерительных ламп, приходится признать, что иногда, и при том неожиданно, случаются

¹ См. статью об этом на стр. 72 этого сборника.

выпадения в световых измерениях или в электрических. Чаше наблюдались либо те, либо другие выпадения порознь, а не одновременно. Естественно, что надо бы повторять подобные измерения, при том в другой измерительной установке, чтобы получить более надежные данные. Однако, Фотометрическая лаборатория иногда не видела полезной надобности в повторных измерениях, вследствие того, что для практических задач т. е.

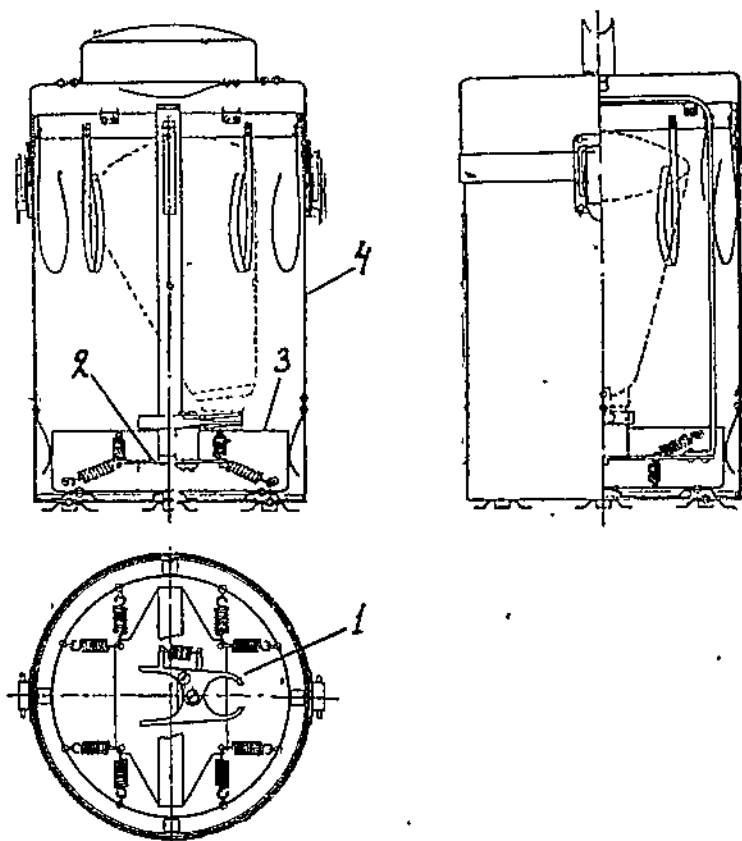


Рис. 1. Прибор для хранения эталонных ламп.

для поверочных работ, встречавшиеся выпадения не были значительными. Вместе с тем, одновременное применение нескольких (а не одной) ламп может существенно уменьшить погрешность в световых измерениях, если она происходит из-за недостаточной удовлетворительности свойств одной лампы.

Измерения производились в начале марта 1940 г. Обстановка измерений была той же, что и в 1938 г.¹ В измерениях

¹ См. ранее названный сборник ВНИИМ, стр. 40-43.

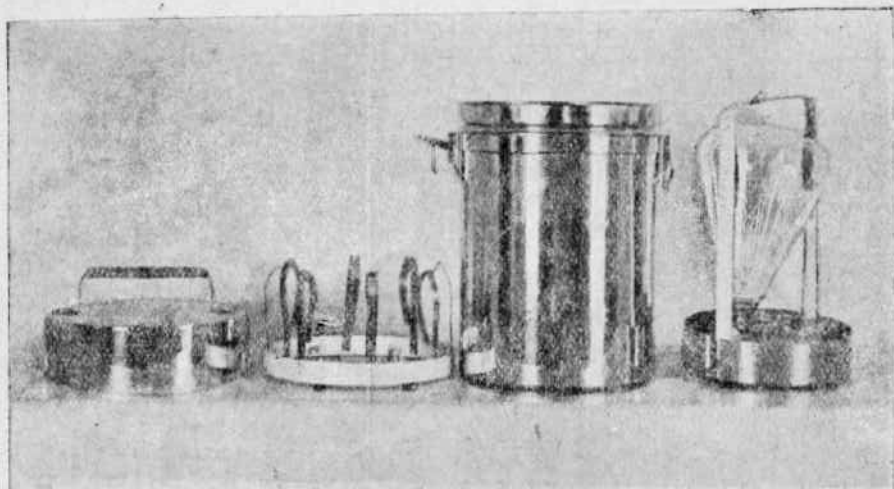


Рис. 2. Основные части прибора.

участвовали четыре наблюдателя. Трое из них были те же, что и в предшествующих измерениях 1938 г.

Прибор для длительного хранения эталонных ламп

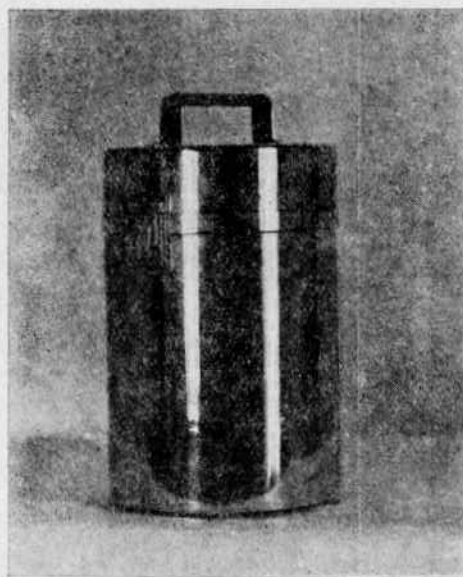


Рис. 3. Прибор в собранном виде.

Ранее сообщалось¹ о предположениях по изменению способа хранения эталонных ламп. Существенное значение придано помещению каждой лампы в металлическую коробку. Пробный образец такой коробки был изготовлен в конце 1939 г. Устройство видно из рис. 1, 2 и 3.

Пружинный зажим 1 захватывает лампу за цоколь. Захват крепится к дощечке 2, прикрепленной к стойке 3 при помощи пружин. Стойка помещается в коробку 4. Во многих местах имеются пружины для предохранения ламп как от удара о стенку, дно или крышку коробки, так и от сотрясения (точнее — для

¹ См. ранее названный сборник, стр. 27.

смягчения и гашения сотрясений) при возможных толчках, например, когда коробка становится на стол. Крышка плотно закрывает коробку. Все без исключения сделано из металла.

В течение 10 месяцев пробного хранения лампы в коробке в комнатных условиях (с изменением температуры от 13 до 27°C), пыль не проникла в заметном количестве внутрь. Внутри не отмечено выделений или налетов. Сильные пробные сотрясения коробки и сильные удары коробки об стол не отражались заметным образом на лампе.

Итоги испытаний считаются удовлетворительными.

В работе (разделы I и II)—кроме автора принимали участие В. Е. Карташевская, К. И. Несмачный и А. М. Сабуренков. Наибольшая доля работы выполнена В. Е. Карташевской. В вычислениях участвовала также М. П. Король.

П. М. ТИХОДЕЕВ И В. Е. КАРТАШЕВСКАЯ

СРАВНЕНИЕ СВЕТОВЫХ ЕДИНИЦ СССР И США

Работы 1938—1940 г.

Сведения о предыдущих сравнениях световых единиц СССР и США, выполненных в 1935 г., были напечатаны¹ и при этом было отмечено, что необходимы дальнейшие сравнения, ввиду недостаточной определенности до сих пор выполненных. Вместе с тем, такие сравнения представлялись существенными по двум основаниям: с одной стороны, вновь вводимый световой эталон в виде черного тела исходит от Бюро стандартов США, с другой, фотометрия и светотехника в США весьма сильно развиваются и успехи их часто используются в разных странах и в том числе в СССР.

После предварительной просьбы Фотометрической лаборатории Всесоюзного научно-исследовательского института метрологии (от 27 февраля 1938 г.), Бюро стандартов любезно согласилось произвести измерения эталонных ламп, которые ему должны быть присланы для этого. Одновременно предполагалось получить некоторое количество эталонных ламп, изготовленных в США и поверенных в Бюро стандартов: считалось, что для большей надежности сравнительных измерений при столь значительном расстоянии между Ленинградом и Вашингтоном и при неисключенной возможности изменения ламп из-за условий пересылки — лучше иметь дело с лампами, изготовленными не одним, а, по крайней мере, двумя заводами. Однако, получение ламп из США не состоялось.

Для измерений были применены электрические лампы накаливания с вольфрамовой нитью, изготовленные Московским электроламповым заводом и частично заводом „Светлана“ (лампы Д-1, Д-2, Д-4, Д-5 и Д-6). Все лампы изготовлены по техническим условиям Фотометрической лаборатории, вошедшим в содержание ОСТ 8273.

Было решено сравнить единицы силы света — международную свечу — СССР и США при двух окрасках света: соответственно цветовым температурам порядка 2080°K и 2350-2400°K. Сравнение единицы светового потока — люмена — намечено было произве-

¹ П. М. Тиходеев — Сравнение световых единиц СССР и США. „Труды ВНИИМ“, вып. 23(39), 1939. Сборник „Исследования в области светозамерительных ламп и световых измерений“, стр. 60—63.

сти также при двух разных окрасках света, имеющих у пустотных и у газополных ламп.

Надо сказать, что ВНИИМ в то время не располагал возможностью измерять цветовые температуры электрических ламп накаливания. В связи с этим ВНИИМ просил Бюро стандартов проградуировать 4 пустотных лампы (типа № 5 по ОСТ 8273) и 4 газополных лампы (2 типа № 6 и 2 типа № 7) на цветовую температуру, а также определить цветовую температуру у двух пустотных ламп и двух газополных ламп, участвующих в измерениях светового потока.

Для сравнений единицы силы света при температуре порядка $2350-2400^{\circ}\text{K}$ были применены семь ламп: Д-1, Д-2, Д-4, Д-5, Д-6, Д-7 и Д-8 типа № 3. Первые пять из них были изготовлены еще в 1927 г. и считались довольно надежными. Первые четыре участвовали в межлабораторных измерениях 1928 г.¹, а пятая время от времени применялась для работ в лаборатории. Остальные две лампы были взяты из числа недавно изготовленных (в начале 1938 г.). Разумеется, предпочтительно было бы выбрать лампы из числа выдержанных, например, не менее 2—3 лет; но таких не имелось. Лампы С-II-13—С-II-19 были изготовлены в июне 1936 г. Лампы СП-II-13—СП-II-19 изготовлены, повидимому, в 1933 г., а лампы СП-II-22—СП-II-29 — в начале 1938 г. Семь пустотных вольфрамовых ламп С-II-13, С-II-14, С-II-15, С-II-16, С-II-17, С-II-18 и С-II-19 типа № 5 были применены для сравнений международной свечи при цветовой температуре порядка 2080°K , при которой горят угольные лампы накаливания. Эти вольфрамовые лампы горели при пониженном напряжении — 72 в (вместо обычных 107 в), которое было подобрано путем сравнения (по цвету, с помощью светомерной головки на светомерной скамье) с угольной лампой (с обозначением С-II-12, из числа ламп эталона-свидетеля второго — для основного светового эталона, — полученных в 1926 г. от Бюро стандартов США). Названная цветовая температура выбрана в связи с тем, что новый световой эталон в виде черного тела имеет температуру 2046°K . Следовательно, такие лампы могли быть впоследствии использованы для сравнения „новой свечи“² СССР и США.

Семь пустотных вольфрамовых ламп СП-II-13, СП-II-14, СП-II-15, СП-II-16, СП-II-17, СП-II-18 и СП-II-19 типа № 9 предназначены для сравнения люмена, равно как и восемь газополных вольфрамовых ламп СП-II-22, СП-II-23, СП-II-24, СП-II-25, СП-II-26, СП-II-27, СП-II-28 и СП-II-29; Бюро стандартов определило такие температуры для четырех ламп:

¹ М. А. Шателен и П. М. Тиходеев. Согласованность в измерениях фотометрических лабораторий СССР и межлабораторные световые измерения 1928 года. „Поверочное дело“, № 3, 1929, стр. 8—16.

² О „новой свече“ см.: например, П. М. Тиходеев. Предстоящая смена основного светового эталона. „Метрология и поверочное дело“ № 1, 1939, стр. 15—20.

Обозначение лампы	Напряжение в вольтах	Цветовая температура
СП-II-18	107,00	2417°K
СП-II-19	107,00	2406 "
СП-II-24	107,00	2826 "
СП-II-25	107,00	2820 "

Как сказано, большая часть ламп была отобрана из числа незадолго до этого изготовленных, именно — в начале 1938 г. Кроме полагающегося отжига на самом заводе (в течение 50 час. при напряжении 112,4 в) лампы подвергались дополнительному отжигу (в феврале 1938 г.) в течение около 52 час. при напряжении 112,5 в. Через каждые 26 час. измерялась сила тока, чтобы судить об устойчивости ламп. За такое время сила тока у разных ламп менялась на разную величину. В среднем, для всех ламп изменение силы тока составило около 0,05% после первой половины отжига и около 0,02% после второй. При этом у большинства ламп сила тока возрасла. После окончания отжига (28 февраля 1938 г.) лампы хранились без употребления. При измерениях 11 июня 1938 г. ламп СП-II-13 — СП-II-19 силы тока в среднем для всех семи ламп уменьшились на 0,02% по сравнению со значением их до хранения. Подобное же отклонение для ламп СП-II-23 — СП-II-28 составило 0,03% в сторону увеличения.

Описанным испытаниям подвергалось несколько большее количество ламп, чем требовалось. Для дальнейших измерений были отобраны лампы, показавшие меньшее изменение силы электрического тока.

После описанных отжига и электрических измерений лампы выдерживались без употребления до измерений в июне и июле 1938 г.

Лампы, измеренные по силе света (Д-I и С-II), сличались (8 июня 1938 г.) с частью ламп основного светового эталона 1-A-7, 1-A-8, 1-A-9, 1-A-10, 1-A-11 и 1-A-12. С теми же лампами они сличались (10 марта 1940 г.) и после измерений в Бюро стандартов. Сличения производились через две лампы сравнения без каких-либо приспособлений для устранения разницы в окраске полей сравнения светомерной головки.

Пустотные лампы, измеренные по световому потоку (с СП-II-13 по СП-II-19), сличались (11 июня 1938 г.) с лампами П-1-12, П-1-13, П-1-14, П-1-15, П-1-16 и П-1-17 первичного эталона люмена. А газополные лампы (с СП-II-22 по СП-II-29) — с лампами П-1-31, П-1-32, П-1-34, П-1-35, П-1-36 и П-1-37 первичного эталона люмена (2 июля 1938 г.). С теми же лампами они сличались (соответственно 4 и 3 марта 1940 г.) и после возвращения из США.

Газополные лампы (с СП-II-22 по СП-II-29) сличались дважды 13 июня 1938 г. и 2 июля 1938 г. для большей надежности измерений. В среднем по всем лампам отклонение в измерениях незначительно (менее 0,1%). Однако, для отдельных ламп отклонение составляло до 0,8%, а лампа СП-II-28 отклонилась даже

на 1,9%. Это объясняется известной неустойчивостью газополных ламп. Лампу СП-II-28, следовало бы и не включать в число отправляемых в США; но она все же была послана на всякий случай, в виде, как бы, запасной.

Лампы вполне удовлетворительно перенесли путешествие в Америку и вернулись в целостности за незначительными исключениями. Лишь у лампы С-II-14 отклеился цоколь, а у лампы СП-II-13 оборвалась нить перед последним отсчетом при измерениях в Бюро стандартов. Чтобы не осложнять международные измерения, часто берут по 6 одинаковых (приблизительно) ламп. Седьмая лампа была взята как запасная, коль скоро лампы отправлялись на далекое расстояние, как груз, без сопровождения людей¹. В связи с этим любопытно упомянуть об упаковке ламп.

Каждая лампа помещалась в небольшом мешечке из мягкой ткани (бумажен), чтобы можно было брать лампу, не прикасаясь пальцами непосредственно к колбе. Лампы малого размера (с СП-II-13 по СП-II-19) помещались затем (вместе в мешочком) в круглую цилиндрическую картонную коробку, высотой 21,5 см и диаметром основания 12 см, а все остальные лампы — в подобную же коробку высотой 26 см и диаметром — 19 см. Лампа в коробке не могла болтаться. Для этого в середине коробки имелся еще цилиндр из волнистого картона, плотно охватывающий лампу; кроме того, между стенками коробки и цилиндром находился слой хлопчатой ваты, завернутой в марлю и имевший толщину около 3 см; отдельная подушечка из ваты в марле прижимала (сверху и сбоку) лампу к внутреннему цилиндру. По три коробки упаковывались в крепкий деревянный ящик, размером 1×0,5×0,5 м, с толщиной около 1,5 см; доски скреплялись поперечинами, на винтах. Коробки между собой и от стенок отделялись довольно плотным слоем сухой, тонкой древесины стружки. Таким образом, вся упаковка предохраняла лампы от сильных толчков и ударов при перевозке. Желательно было бы иметь упаковку с противосыроостной оберткой. Однако, транспортная контора заверяла, что груз будет находиться в сухом помещении.

Можно думать, что выбранная упаковка вполне себя оправдала.

Лампы были отправлены из ВНИИМ 29 июля 1938 г. Они, видимо, несколько задерживались доставкой в Бюро стандартов. Там они были измерены в середине 1939 г. (письмо с итогами измерений помечено 21 июля 1939 г.). Возвратились лампы обратно — 11 ноября 1939 г. Завершающие измерения были выполнены в начале марта 1940 г.

Все измерения приведены в табл. 1, 2 и 3.

¹ Конечно, эталонные лампы следовало бы перевозить на руках.

Сравнение единиц силы света СССР (ВНИИМ) и США (В. S.) по эта

Обозначение ламп	Сила света, в международных свечах				Разница в силе света, в % по данным			Сила тока,	
	ВНИИМ			В. S. 1939 г.	ВНИИМ 1940 г. по отношению к данным:			В Н И	
	1931 г.	1938 ¹ г.	1932 ² г.		1931 г.	1938 г.	В. S. к средним данным ВНИИМ	1931 г.	1938 г.
Д-1	36,9 ₄	36,4 ₈	36,7 ₆	36,80	-0,5	+0,8	+0,5	0,4446 ₉	0,4449 ₄
Д-2	36,5 ₁	36,1 ₃	36,4 ₂	36,30	-0,2	+0,8	+0,1	0,4447 ₆	0,4444 ₄
Д-4	37,0 ₂	36,4 ₃	36,7 ₄	36,82	-0,8	+0,8	+0,6	0,4446 ₃	0,4448 ₅
Д-5	30,5 ₀	30,5 ₂	30,6 ₇	30,56	+0,6	+0,5	-0,1	0,4309 ₆	0,4312 ₈
Д-6	30,1 ₁	30,1 ₂	30,1 ₁	30,12	+0,0	-0,0	+0,0	0,4248 ₁	0,4246 ₁
Д-7	—	33,2 ₂	33,2 ₇	33,22	—	+0,2	-0,1	—	0,4702 ₅
Д-8	—	34,0 ₅	34,1 ₃	34,21	—	+0,2	-0,4	—	0,4708 ₉
В среднем для одной лампы:					+0,4	+0,5	+0,3		
В среднем для всех ламп:					-0,2	+0,5	+0,2		

Бюро стандартов уведомило, что лампы С-II-13 ÷ С-II-19 сличались с 6 лампами, взятыми из числа 45 угольных электрических ламп, посредством которых Бюро стандартов хранит международную свечу. Лампы Д-1 ÷ Д-8 сличались им с вольфрамовыми эталонными лампами, образующими вторичный эталон, происходящий от упомянутого основного из 45 угольных ламп. Лампы СП-II-13 ÷ СП-II-19 сличались с эталоном люмена в виде пустотных вольфрамовых ламп, опирающихся на вторичный эталон из вольфрамовых ламп (т. е. на тот, который применялся для ламп Д-1 ÷ Д-8). Лампы СП-II-22 ÷ СП-II-29 сличались с газополными эталонными лампами Бюро стандартов, которые опираются на особые хранимые им эталоны, воспроизводящие международную свечу.

При измерениях ламп на силу света Бюро стандартов применяло тот же щит с окном (для устранения отраженных колбой лучей), который применяет и Фотометрическая лаборатория ВНИИМ.

В измерениях применялись, как выше сказано, лампы, имеющие цветовую температуру в пределах около 2080—2820° К. Следовательно, непосредственно или косвенно, имело место сравнение разноцветных источников света.

Известно, что Консультативный комитет по фотометрии при Международном комитете мер и весов принял решение осуществлять переход от одного цвета к другому при помощи

¹ Три наблюдателя.

² Четыре наблюдателя.

Таблица

лонным лампам, горящим при цветовой температуре около 2350—2400°K

в амперах		Разница в силе тока, в % по данным			Отклонения отдельных наблю- дателей в измерениях силы света 1940 г., в ‰				Сила света, в между- народных свечах, ВНИИМ 1938 г. по 4 наблюдателям	
И	М	В. С.	ВНИИМ 1940 г. по отношению к данным		В. С. к сред- ним данным ВНИИМ	1-й	2-й	3-й		4-й
	1940 г.	1939 г.	1931 г.	1938 г.						
	0,4445 ₄	0,4447	-0,03	-0,09	-0,01	-0,8	-0,3	+1,2	-0,1	36,6 ₉
	0,4445 ₆	0,4444	-0,05	+0,02	-0,02	-0,3	-0,1	+0,7	-0,3	36,2 ₈
	0,4445 ₄	0,4448	-0,03	-0,07	+0,02	-0,4	+0,3	+0,6	-0,5	36,5 ₈
	0,4307 ₂	0,4319	-0,06	-0,13	+0,21	-0,2	-0,3	+0,9	-0,4	30,5 ₇
	0,4245 ₂	0,4246	-0,07	-0,02	+0,01	-0,1	-0,5	+0,8	-0,2	30,0 ₇
	0,4700 ₁	0,4703	—	-0,04	+0,03	-0,2	-0,1	+0,3	+0,1	33,2 ₆
	0,4705 ₁	0,4707	—	-0,08	+0,00	-0,4	+0,1	+0,6	-0,4	34,1 ₀
			-0,05	+0,07	+0,04	-0,3	+0,2	+0,7	+0,3	
			-0,05	-0,06	+0,03	-0,3	-0,1	+0,7	-0,3	

голубого поглотителя. Это решение относится к таким же измерениям, какие имели место и в данном случае. Фотометрическая лаборатория ВНИИМ пока еще не располагает нужными поглотителями. Переход от одного цвета к другому (от 2080 к 2400°K) был осуществлен непосредственно, т. е. при разноцветных световых измерениях. Переход к цвету с еще более высокой температурой был выполнен ранее, при установлении первичного эталона люмена — также непосредственно. Естественно, что вследствие этого влияние свойств зрения отдельных наблюдателей должно заметно сказываться. Фотометрическая лаборатория располагает ограниченным числом наблюдателей. Их было четверо или пятеро в наблюдениях 1938 г. и четверо — 1940 г.; трое из них участвовали в измерениях обоих годов.

Спектральная чувствительность глаз наблюдателей определялась в 1939 г. Оказалось, что четвертый и пятый наблюдатели в измерениях 1938 г. и четвертый наблюдатель в измерениях 1940 г. заметно отличаются от остальных и между собой. Четвертый и пятый наблюдатели в 1938 г. настолько отличались от первых трех, что их показания не принимались в расчет, кроме измерений светового потока пустотных ламп, в которых приняты наблюдения пяти лиц; впрочем, наблюдения пяти лиц почти не отличаются от наблюдений троих. Трое наблюдателей, участвовавших в измерениях 1938 и 1940 гг., имели в среднем такую спектральную чувствительность, что переход от 2080 к 2820°K они совершали с отклонением до $\pm 1,5\%$ по сравнению с международно принятой относительной

Сравнение единицы силы света СССР и США по эталонным лампам, горящим при цветовой температуре около 2080 °K

Обозначение ламп	Сила света, в между-народных свечах		Разница в силе тока, в %, по данным:		Сила тока, в амперах		Разница в силе тока, в %, по данным:		Отклонения отдельных наблюдателей в измерениях силы света 1940 г., в %				Сила света, в между-народных свечах; ВНИИМ 1938 г. по 1 наблюдателю	
	ВНИИМ	В. С. 1939 г.	ВНИИМ 1940 г. к дан-ным 1938 г.	В. С. к сред-ним данным ВНИИМ	ВНИИМ 1938 г.	1940 г.	В. С. 1939 г.	ВНИИМ 1940 г. к дан-ным 1938 г.	1-й	2-й	3-й	4-й		
C-II-13	21,7 ₀	21,07	-0,8	-2,0	1,1076	1,1074	1,1075	-0,02	±0,00	-0,3	+1,1	+0,1	-0,1	21,5 ₉
C-II-15	21,4 ₂	20,75	+0,4	-3,3	1,1173	1,1172	1,1176	-0,01	+0,03	-0,9	-0,6	+0,4	+1,1	21,2 ₀
C-II-16	21,8 ₈	20,48	-0,9	-3,8	1,1098	1,1097	1,1099	-0,01	+0,01	-1,1	+0,3	+0,1	+0,7	21,1 ₈
C-II-17	21,9 ₄	21,30	+0,5	-3,1	1,0900	1,0898	1,0900	-0,02	+0,01	±0,0	+0,2	-0,1	-0,2	22,7 ₁
C-II-18	22,7 ₂	21,97	-0,5	-3,0	1,1191	1,1188	1,1190	-0,03	+0,00	-1,0	+0,3	+0,2	+0,4	22,4 ₆
C-II-19	22,8 ₆	22,26	+0,1	-2,7	1,1162	1,1160	1,1161	-0,02	+0,03	-1,4	+0,2	+1,2	+1,2	22,5 ₈
В среднем для одной лампы:			±0,5	-3,1				-0,02	±0,01	-0,9	±0,5	±0,3	±0,4	
В среднем для всех ламп:			-0,2	-3,1				-0,02	+0,01	-0,9	+0,3	+0,3	+0,4	

1 Три наблюдателя.
2 Четыре наблюдателя.

¹ Три наблюдателя.

² Четыре наблюдателя.

видностью. Для четверых наблюдателей 1940 г., вместе взятых, такое же отклонение составляет около $\pm 0,6\%$. Надо, однако, иметь в виду, что спектральная чувствительность у одного и того же наблюдателя, повидимому, подвержена колебаниям. Многолетние наблюдения показывают, что постоянная разница при одинаковых разноцветных измерениях между одними и теми же лицами время от времени меняется, при том иногда она переходит в противоположную сторону. Вот почему не приходится считать вполне неизменным и благонадежным подбор наблюдателей по их спектральной чувствительности. Это обстоятельство еще нуждается в дальнейшем изучении (что и ведется). Приходится указать, что в описываемых измерениях отмеченная неустойчивость свойств глаз наблюдателей имела место. Так, один наблюдатель по лампам с температурой около 2080°K отклонился от среднего (по всем наблюдателям) в 1938 г. на $-0,1\%$, а в 1940 г. — на $-0,9\%$. Другой наблюдатель по лампам с температурой около 2400°K — в 1938 г. — на $-0,5\%$, а в 1940 — на $+0,7\%$.

Затруднения в разноцветных измерениях, в особенности, международных (заочных, при которых всю обстановку измерений не представляется возможным привести в известность) хорошо знакомы. Лишь в самые последние годы их стали удовлетворительно преодолевать. Несомненно, в описываемых измерениях рассмотренное явление оказало свое влияние. Оно предвиделось. Но естественное средство для его ослабления — увеличение числа наблюдателей, и при том опытных, не могло быть применено. Пожалуй, надо было бы считать, что удовлетворительные результаты могут дать пять наблюдателей. Однако нельзя предвидеть и поручиться, что зрение данного наблюдателя в назначенный день измерений будет находиться в обычном удовлетворительном состоянии; поэтому, осторожность требовала бы присоединения еще запасного наблюдателя. Значительное число наблюдателей замедляет измерения и усложняет их, например, уменьшает число эталонных ламп, которые можно измерить на протяжении одного дня.

Условия световых и электрических измерений были в 1940 г. такими же, как и в 1938. Они содержатся в ранее напечатанных работах Фотометрической лаборатории.¹

Итоги измерений показывают, прежде всего, небольшое расхождение в измерениях Фотометрической лаборатории ВНИИМ в 1938 и в 1940 гг. К этому могло быть несколько причин: неустойчивость самих ламп, погрешности измерений, изменение ламп, влияние отдельных наблюдателей, случайности. Стоит отметить, что, если, например, для ламп Д-1 — Д-8 взять в расчет показания только двух наблюдателей, лампы не изменились; вместе с тем, показания третьего наблюдателя (см. выше) сильно отклонились. В подобных измерениях надо было бы

¹ „Труды ВНИИМ“, вып. 23(39) „Исследования в области светонизмерительных ламп и световых измерений“. 1939, Стр. 18—26 и 40—55.

**Сравнение единицы светового потока СССР и США по эталонным
газополным с цветовой тем**

Обозначение ламп	Световой поток, в люменах			Разница в световом потоке, в %, по данным		Сила тока, в амперах	
	ВНИИМ		В. С. 1939 г.	ВНИИМ 1940 г. к ВНИИМ 1938 г.	В. С. к средним данным ВНИИМ	ВНИИМ	
	1938 г. ¹	1940 г. ²				1938 г.	1940 г.
СП-II-13	466	4	(468)	—	(+0,4)	0,5679 ₀	—
СП-II-14	456	456	455	—0,1	—0,2	0,5601 ₇	0,5599 ₈
СП-II-15	454	457	456	+0,8	+0,1	0,5580 ₃	0,5578 ₀
СП-II-16	462	464	462	+0,4	—0,2	0,5648 ₈	0,5643 ₀
СП-II-17	470	472	475	+0,4	+0,8	0,5715 ₈	0,5711 ₃
СП-II-18	480	483	483	+0,6	+0,3	0,5717 ₂	0,5713 ₃
СП-II-19	463	464	464	+0,2	+0,1	0,5645 ₀	0,5642 ₈
В среднем для одной лампы:				±0,4	±0,3		
В среднем для всех ламп:				+0,4	+0,2		
СП-II-22	3440 ³	3443 ⁴	3441	+0,1	—0,0	2,241 ₈	2,141 ₅
СП-II-23	3382	3384	3400	+0,1	+0,5	2,306 ₇	2,305 ₄
СП-II-24	3487	3477	3498	—0,3	+0,5	2,245 ₀	2,245 ₀
СП-II-25	3460	3436	3502	—0,7	+1,6	2,230 ₃	2,229 ₆
СП-II-26	3502	3505	3508	+0,1	+0,1	2,241 ₅	2,241 ₁
СП-II-27	3400	3434	3455	+1,0	+1,1	2,230 ₅	2,230 ₈
СП-II-28	3421 3355	3431	3454	+0,3 (+2,3)	+0,8 (+1,8)	2,238 ₁	2,237 ₉
СП-II-29	3428	3481	3497	+1,5	+1,2	2,225 ₉	2,224 ₀
В среднем для одной лампы:				±0,5 (±0,8)	+0,7 (+0,8)		
В среднем для всех ламп:				+0,3 (+0,5)	+0,7 (+0,8)		

¹ Пять наблюдателей.

² Четыре наблюдателя.

³ Три наблюдателя.

⁴ Перегорела.

ламлам: пустотным с цветовой температурой около 2400°K и по пературой около 2820°K

Таблица 3

перах		Разница в силе тока, в %, по данным		Отклонения отдельных наблюдателей в измерениях светового потока 1940 г.				Световой поток, в люменах; ВНИИМ 1938 г.
В. С.	1939 г.	ВНИИМ 1940 г. к ВНИИМ 1939 г.	В. С. к средним данным ВНИИМ	1-й	2-й	3-й	4-й	
(0,5671)	—	(-0,157)	—	—	—	—	—	По 3 наблюдателям 465
0,5602	-0,03	+0,02	-0,1	+0,2	+0,3	-0,3	-0,3	455
0,5581	-0,04	+0,03	-0,4	-0,0	+0,5	-0,1	-0,1	453
0,5636	-0,08	-0,05	+0,0	-0,5	-0,1	+0,5	+0,5	462
0,5714	-0,08	+0,01	+0,2	+0,4	-0,4	-0,2	-0,2	471
0,5714	-0,07	-0,02	+0,3	+0,0	-0,0	-0,3	-0,3	481
0,5637	-0,06	-0,12	+0,5	-0,5	+0,1	-0,1	-0,1	462
	±0,06	±0,04	±0,3	±0,3	±0,2	±0,3		
	-0,06	-0,02	-0,1	-0,1	+0,1	-0,1		
								По 4 наблюдателям
2,242	-0,01	+0,02	+0,7	+0,2	-0,4	-0,5		3453
2,308	-0,06	+0,08	+0,3	+0,3	-0,3	-0,4		3400
2,247	±0,00	+0,08	+0,8	-0,0	+0,5	-1,2		3502
2,231	-0,04	+0,05	+0,4	+0,6	-0,5	-0,6		3473
2,243	-0,02	+0,08	+0,5	+0,2	-0,0	-0,7		3522
2,232	+0,01	+0,06	+0,7	+0,2	-0,4	-0,5		3428
2,238	-0,01	±0,00	+0,3	+0,8	-0,3	-0,7		3374
2,227	-0,08	+0,09	+0,4	+0,4	-0,3	-0,6		3449
	±0,03	±0,06	+0,5	±0,3	±0,3	-0,7		
	-0,02	-0,06	+0,5	+0,3	-0,2	-0,7		

не только иметь большее число наблюдателей, но и измерять лампы 2—3 раза через несколько дней.

Международная свеча и люмен СССР и США по пустотным лампам при температуре около 2400°K совпадают с точностью до 0,2% (см. табл. 1 и первую половину табл. 3). Люмен СССР и США по газополным лампам при температуре около 2820°K совпадает с точностью до 0,7%. Такие совпадения надо считать достаточно благоприятными для международных измерений.

Расхождение в значении международной свечи СССР и США по пустотным лампам при температуре около 2080°K , найденное как 3,1% нуждается в следующей поправке. По данным Бюро стандартов США¹, в настоящее время наблюдается расхождение² в значениях международной свечи США по угольным эталонным лампам (2080°K) и по пустотным вольфрамовым (около 2360°K). Именно, международная свеча по угольным лампам почти на 2% меньше, чем по лампам с температурой около 2360°K . После внесения соответствующей поправки разница между значениями международной свечи СССР и США при температуре около 2080°K составит приблизительно 1% или немногим больше. Такая разница вернее всего объясняется разноцветными световыми измерениями, о чем говорилось выше.

Статья составлена П. М. Тиходеевым, руководителем и участником работы. Осуществлена работа в большей доле В. Е. Карташевской. В измерениях принимали участие еще К. И. Несмачный, А. М. Сабуренков и др. В вычислениях принимала участие М. П. Король.

¹ На это имеется прямое указание в одном из писем, полученных ВО ВНИИМ от Бюро стандартов. См. „Труды ВНИИМ“, вып. 23(39), 1939, стр. 64—73; обратить внимание на стр. 65, 71 и 72.

² При определенных условиях измерений.

СССР
КОМИТЕТ ПО ДЕЛАМ МЕР И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ ПРИ СНИ СССР
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ МЕТРОЛОГИИ
„ВНИИМ“

Ленинград, ГСП 141, Международный пр., 19

Тел. 1-58-21 и 579-39

ТРУДЫ ВНИИМ
Вышли из печати:

1. **Микроманометры. Анемометры**, № 20(36), под редакцией проф. Доброхотова А. Н. Цена 5 р.
2. **Электрические исследования и измерения**, № 21(37), под ред. проф. Маренина Н. А. Цена 4 р.
3. **Исследования в области измерения длин**, № 22(38), под ред. проф. Баринаова В. А. Цена 10 р.
4. **Исследования в области светоизмерительных ламп и световых измерений**, № 23(39), под ред. проф. Тихонова П. М. Цена 12 р.
5. **Исследования в области электрических измерений**, № 24(40), под ред. проф. Маренина Н. А. Цена 10 р.
6. **Исследования в области рентгенометрии**, № 25(41), под ред. проф. Поройкова И. В. Цена 4 р.
7. **Исследования в области радиологии**, № 26(42), под ред. проф. Богоявленского Л. Н. Цена 4 р.
8. **Магнитные исследования и измерения**, № 1(43), под ред. проф. Шрамкова Е. Г. Цена 8 р.
9. **Механические измерения**, № 2(44), под ред. проф. Доброхотова А. Н. Цена 5 р.
10. **Высоочастотные исследования и измерения**, под ред. проф. Кьяндского Г. А. Цена 7 р.
11. **Потенциометры**. Кротова В. И. Монография. Ц. 9 р. 75 к.
12. **Эталон времени**. Россовская В. А. Монография. Ц. 1 р.
13. **Современное состояние эталонов длины и методы точного измерения длины**. Проф. Баринов В. А. Монография. Цена 11 р.
14. **Краткий обзор важнейших научно-исследовательских работ лабораторий ВНИИМ** (бесплатно).
15. **Исследования в области измерения длин и качества обработки поверхности**, под ред. проф. Баринаова В. А. Цена 7 р.
16. **Исследования в области тепловых измерений**, под ред. проф. Кондратьева Г. М. Цена 4 р.
17. **Исследования в области химии**, под ред. проф. Липина С. В. Цена 4 р.
18. **Исследования в области оптических измерений**, под ред. Романовой М. Ф. Цена 3 р.
19. **Точные измерения в приборо- и машиностроении**, под ред. проф. Баринаова В. А. Цена 9 р.
20. **Исследования в области термометрии**, под ред. проф. Кондратьева Г. М. Цена 4 р.

Заказы на сборники и отчеты о научно-исследовательских работах, указанных в вышедшем из печати „Кратком обзоре важнейших научно-исследовательских работ лабораторий ВНИИМ“, направлять в Ленинград, 5, Международный пр., 19, Планово-производственный отдел ВНИИМ.