1952 г. Июнь *Т. XLVII, вып. 2*

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

СВЕТОВАЯ ВОЛНА КАК ОСНОВНАЯ МЕРА ДЛИНЫ

М. Ф. Романова

В 1791 г., во время Французской Революции, за единицу длины был принят метр, определённый как «естественная» мера длины, равная одной сорокамиллионной части Парижского меридиана. В дальнейшем трудности геодезических измерений и их недостаточная точность заставили отказаться от «естественной» единицы длины и положить, что платино-иридиевые эталоны метра не только воспроизводят, но и определяют метр. В настоящее время государственным эталоном длины СССР является платино-иридиевый эталон метра, имеющий знак «28», длина которого при 0° считается равной 1 *м* + 0,71 *мк*.

Развитие в последние годы интерференционных методов измерения длины позволило снова вернуться к вопросу об «естественной» единице длины на этот раз в виде длины световой волны.

Определение метра числом длин волн имеет большие преимущества перед его первоначальным определением как доли меридиана. В самом деле, интерференционные методы позволяют не только воспроизвести эталон длины в световых волнах, но и широко применять на практике световую волну как основную меру при измерениях длины концевых мер.

При переходе на определение длины метра с помощью длины световой волны и выражении длины метра в длинах световых волн должны быть разрешены следующие три задачи:

1) выбор основной спектральной линии, длина волны которой определит длину метра;

2) разработка удобных методов интерференционных измерений и их расширение на меры длиною до одного метра;

3) установление значения длины основной световой волны, при котором новый метр как можно ближе подходил бы к длине существующего метра.

Основной световой волной в настоящее время считается длина волны красной линии кадмия в воздухе при нормальных условиях. Эта спектральная линия всесторонне изучалась на протяжении

более пятидесяти лет, в частности были произведены многократные сравнения её длины волны с длиной метра[1].

Результаты этих измерений, приведённые к следующим нормальным условиям: сухой воздух, содержащий 0,03% CO_2, имеющий температуру 15 °C и давление 760 *мм* рт. ст., даны в таблице.

Таблица

Длина волны красной линии кадмия в ангстремах

Дата	Авторы	Оригинальные данные, приводимые авторами	Исправленные данные, приведённые к нормальным условиям
1895	Майкельсон и Бенуа . . .	6438, 4722	6438, 4691
1905/6	Бенуа, Фабри и Перо . .	6438, 4696	6438, 4703
1927	Ватанабе и Имаизуми .	6438, 4685	6438, 4682
1933	Сирс и Баррелл	6438, 4711	6438, 4713
1934/5	» »	6438, 4708	6438, 4709
1933	Кестерс и Лампе	6438, 4672	6438, 4689
1935	» »	6438, 4685	6438, 4690
1937	» »	6438, 4700	6438, 4700
1940—1941	Романова, Варлих, Карташёв и Батарчукова . . .	6438, 4687	6438, 4687

Исправления при переходе к значениям последней графы были сделаны в связи с уточнением значений температурных коэффициентов удлинения национальных эталонов метра и условий, определяющих нормальный воздух.

Следует заметить, что начиная с 1933 г. измерения производились не только в воздухе, но и в вакууме.

Предполагая одинаковый вес у всех этих измерений, имеем следующее среднее арифметическое значение длины волны красной линии кадмия при нормальных условиях:

$$\lambda = 6438{,}4696\,\text{Å} = 0{,}64384696 \cdot 10^{-6}\ м,$$

и среднюю квадратичную погрешность результата измерения

$$S = \pm 0{,}0004\,\text{Å}.$$

Сходимость этих измерений, произведённых в различных странах различными методами и в различное время, показывает, что, основываясь на длине волны красной линии кадмия, можно определять длину метровых штриховых мер с относительной погрешностью порядка $1 \cdot 10^{-7}$.

Что касается плоскопараллельных концевых мер, то точность их измерения должна была быть ещё более высокой. Действительно, непосредственные измерения расстояний порядка 100 *мм* между двумя параллельными плоскими поверхностями показали, что красная линия кадмия позволяет измерять длину с относительной погрешностью $2 \div 3 \cdot 10^{-8}$.

Измерения же одной и той же длины с помощью стандартных кадмиевых ламп показали, что длина волны может меняться при переходе от одной лампы к другой не более чем на $0{,}0001 \div 0{,}0002$ Å.

Более того, замена стандартной кадмиевой лампы лампами другого типа (с накалённым катодом, полым катодом) давала ту же воспроизводимость длины волны. Только переход к ртутно-кадмиевой дуге, сопровождавшийся значительным увеличением ширины линии, приводил к изменению длины волны, доходившему, по нашим измерениям, до $+0{,}006$ Å.

К числу недостатков красной линии кадмия следует отнести её значительную ширину. Как известно, ширина спектральной линии в основном определяется тепловым расширением, величина которого прямо пропорциональна корню квадратному из абсолютной температуры и обратно пропорциональна корню квадратному из атомного веса. Средний атомный вес кадмия равен 112,41, т. е. почти в два раза меньше веса такого тяжёлого элемента, как ртуть. Добиться уменьшения теплового расширения путём понижения температуры, охлаждая лампу жидким воздухом или азотом, подобно тому, как это делается с лампами, наполненными криптоном, невозможно, так как достаточное давление паров кадмия получается только при температуре около 300 °С.

Вследствие большой ширины линии предельная разность хода, при которой ещё возможно наблюдать интерференцию в свете красной линии кадмия, не превышает 300—350 *мм*.

Другим большим недостатком красной линии кадмия является наличие в ней сверхтонкой структуры. Применяя источник света с полым катодом и интерференционные эталоны высокой разрешающей силы, нам удалось в своё время[2] установить наличие следующих четырёх составляющих сверхтонкой структуры:

$$-0{,}0035\,\text{Å};\ 0;\ +0{,}0035\,\text{Å};\ +0{,}0095\,\text{Å}\ (\text{слабая}).$$

В этих условиях нельзя надеяться на дальнейшее увеличение точности определения длины волны этой линии по сравнению с уже достигнутой, соответствующей относительной погрешности измерения порядка $1{,}5 \cdot 10^{-8}$.

Известно, однако[3], что наиболее точные измерения длины метровых мер путём сравнения с государственным эталоном метра на компараторе сопровождаются относительной средней квадра-

тичной погрешностью около $1{,}2 \cdot 10^{-7}$. Таким образом, несмотря на указанные выше недостатки красной линии кадмия, интерференционные измерения длины, сводящиеся к сравнению длины меры с длиной волны красной линии кадмия, не только позволяют измерять длину естественной неизменной мерой, но и дают возможность увеличения точности измерения длины.

На основании этих исследований мы полагаем, что первую и третью из поставленных выше задач: выбор спектральной линии и установление её значения можно считать в первом приближении решёнными.

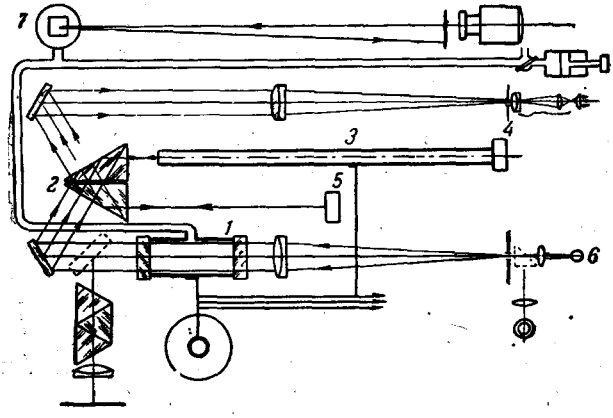


Рис. 1. Ход лучей в большом горизонтальном интерферометре.

Оставалось разрешить вторую задачу — создание удобных и точных методов измерения плоскопараллельных концевых мер длиною до одного метра.

Интерференционные методы измерения концевых мер длиною до 100 *мм* в настоящее время широко распространены и основываются на наблюдении в монохроматическом свете интерференции при разности хода, определяемой длиной меры. Установив с помощью интерференционных полос число длин волн, укладывающихся в разности хода, мы определяем тем самым длину меры в длинах волн того излучения, при котором наблюдается интерференция.

На основании предварительных сравнений с красной линией кадмия длина волны этого излучения может быть выражена в долях метра, что позволяет установить и значение длины меры также в долях метра. Применять этот метод можно только для разностей хода, при которых ещё видна интерференция. С помощью кадмиевых и криптоновых ламп измерять этим методом, соответствующим

непосредственному сравнению длины меры с длиной световой волны, в лучшем случае удаётся концевые меры длиною не более 150—175 *мм*.

Для измерения концевых мер длиною до одного метра нами был предложен метод, основанный на скрещивании интерферометра с многократно разделёнными пучками и интерферометра с двумя интерференционными пучками.

На основании этого метода ещё в 1940 г. был сконструирован и изготовлен во ВНИИМ большой горизонтальный интерферометр[4], оптическая схема которого изображена на рис. 1.

Основными частями интерферометра являются трубчатый эталон и двойная призма.

Трубчатый эталон *1* представляет собою стальную трубу диаметром 58 *мм*, длиною около 100 *мм*, к вертикально отполированным торцам которой притираются две плоские стеклянные пластины, посеребрённые методом катодного распыления (коэффициент отражения 90÷92%).

Двойная призма *2* является видоизменением разделяющей пластины; она делит пучок света, прошедший через трубчатый эталон, на части *a* и *b*; одна из них падает далее на верхнюю поверхность измеряемой стальной меры *3* и притёртой к ней стальной пластины *4*, другая часть пучка падает на стальную пластину *5*.

В этих условиях возможно наблюдать интерференцию пучков *a* и *b* при малых разностях хода, применяя белый свет от лампы накаливания *6*, в том случае, когда поверхность зеркала *5* будет отстоять от свободной поверхности меры и поверхности притёртой к мере пластины на расстояние, равное 0, l, $2l$, $3l$ и т. д., где l — расстояние между зеркалами трубчатого эталона.

Если длина меры L является кратной длине трубчатого эталона l, то можно установить зеркало *5* так, что мера *3* будет разделена на две части, равные

$$m_1 l \text{ и } m_2 l,$$

где m_1 и m_2 — целые числа и $m_1 + m_2 = m$.

При небольшом наклоне поверхностей измеряемой меры по отношению к пластине *5* в этих условиях возможно наблюдать в белом свете две системы интерференционных полос переналожения, аналогичных интерференционным полосам равной толщины с центральной чёрной ахроматической полосой (рис. 2).

Смещение ахроматических полос этих двух систем, из которых одна представляется расположенной на свободной поверхности меры *3*, а другая—на поверхности притёртой к мере пластины *4*, соответствует разности между кратным значением длины трубчатого эталона l и длиной концевой меры L

$$ml - L.$$

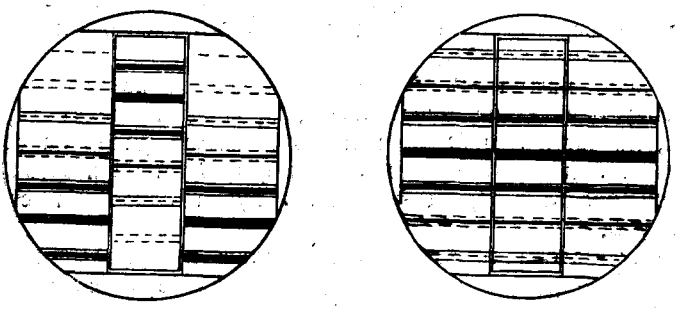
Уменьшая давление воздуха в трубчатом эталоне с помощью небольшого насоса и уменьшая тем самым оптическую длину трубчатого эталона, можно привести две системы интерференционных полос к совпадению, подобно тому, как это указано на рис. 2,б. В этом случае

$$m(l-\delta)-L=0$$

и

$$L=m(l-\delta).$$

Таким образом, измерение длины меры L на большом горизонтальном интерферометре сводится к измерению длины трубчатого эталона l и малой разности хода δ. Оба эти измерения производятся путём сравнения этих длин с длиной световой волны.



а *б*

Рис. 2. Интерференционные полосы переналожения.

Длина трубчатого эталона l, приблизительно равная 100 *мм*, определяется методом совпадения дробных частей порядка интерференции при наблюдении интерференционных колец равного наклона, ещё отчётливо видных как в свете красной линии кадмия, так и в свете линий криптона в обычных газосветных лампах.

Длина трубчатого эталона измерялась систематически и, как показал опыт, мало изменялась со временем. Эта длина поэтому могла не измеряться заново при каждом измерении длины меры *3*.

Измерение малой разности хода δ, меняющейся при переходе от одной измеряемой меры к другой, производилось с помощью определения показания микроманометра, соединённого с трубчатым эталоном, в момент совпадения двух систем интерференционных полос (рис. 2,б).

Микроманометр предварительно градуировался при наблюдении полос переналожения с мерой $L=100$ *мм* в монохромати-

ческом свете. Постепенно изменяя давление в трубчатом эталоне, устанавливали связь между изменением давления и изменением разности хода $2(l-L_{100})=2\delta$ на одну полосу.

При первых испытаниях этой установки нам удалось измерить длину трубчатого эталона с вероятной погрешностью результата измерения

$$R_l=\pm 0{,}006 \text{ мк}$$

и длину метровой концевой меры с погрешностью

$$R_L=\pm 0{,}08 \text{ мк}.$$

Созданная установка, позволяющая определять длину плоскопараллельных концевых мер, кратных 100 *мм* и не превышающих 1000 *мм*, удовлетворяла запросам техники, так как выпускаемые промышленностью наборы мер длиною свыше 100 *мм* содержат в основном меры, кратные 100 *мм*.

Измеряя на большом горизонтальном интерферометре длину плоскопараллельных концевых мер, можно было установить наблюдение за возможными изменениями длины государственного эталона метра.

Для измерения длины как государственных, так и рабочих эталонов метра, являющихся штриховыми мерами, можно было применить тот же метод боковичков, который с успехом был использован при наших сравнениях длины волны красной линии кадмия с длиной прототипа метра[1]. Боковички представляют собою две плоскопараллельные меры длиною порядка 1 *см*, на боковых поверхностях которых имеются штрихи.

Предварительно боковички притирались друг к другу, и расстояние между ними измерялось на компараторе.

После притирания этих боковичков к метровой концевой мере, измеренной в длинах волн, последняя превращалась в штриховую меру, длина которой была немногим более метра и могла быть сравнена на компараторе с длиной штрихового платино-иридиевого эталона метра.

Измерения такого рода были произведены нами в 1949 г.[5]. Путём увеличения числа измерений нам удалось повысить точность интерференционных измерений на большом горизонтальном интерферометре и довести вероятную погрешность результата измерения R_L до $\pm 0{,}04$ *мк*.

Усовершенствование метода боковичков позволило получить при сравнении длины концевой метровой меры с длиной штрихового государственного эталона метра вероятную погрешность результата измерения $\pm 0{,}1$ *мк*. Интерференционные измерения длины плоскопараллельной метровой концевой меры, основанные на том, что значение длины волны красной линии кадмия в нормальном воздухе равно $0{,}64384696\cdot 10^{-6}$ *м*, привели к значению длины меры

при 20 °С, равному 1 *м* — 1,73 *мк*. Сравнения с государственным эталоном метра на компараторе дали величину 1 *м* — 1,81 *мк*.

Если мы для краткости назовём метр, определяемый длиной световой волны, «световым метром», то эти измерения приводят нас к заключению, что государственный эталон метра длинее «светового метра» на 0,08 *мк*.

Сравнение длины волны красной линии кадмия с длиной метра, выполненное нами в 1941 г.[1], было осуществлено также с помощью государственного эталона метра СССР. Эти измерения, произведённые нами другим методом и на другой установке, привели к значению красной линии кадмия в нормальном воздухе, равному $0{,}64384687 \cdot 10^{-6}$ *м* вместо $0{,}64384696 \cdot 10^{-6}$ *м*. Отсюда следует, что длина государственного эталона метра в то время также была больше длины «светового метра», но на величину $+0{,}14$ *мк*.

Сопоставляя эти результаты с результатами измерений в 1949 г. на большом горизонтальном интерферометре, мы видим, что изменение длины государственного эталона метра за 9 лет, протекших между этими двумя измерениями, не превышало 0,06 *мк*. Такое изменение лежит в пределах точности измерения.

Таким образом, в настоящее время возможно достаточно простым методом определять длину государственного эталона метра в длинах световых волн и следить за её возможными изменениями. Такое положение соответствует фактическому переходу в нашей стране на метр, определяемый длиной волны красной линии кадмия.

Характерной особенностью предложенного нами метода интерференционных измерений длины мер свыше 100 *мм* является возможность расширения пределов измерения при почти неизменной относительной погрешности измерения.

В описанном нами случае относительная погрешность измерения метровой концевой меры достигала $4 \cdot 10^{-8}$ и только немногим превышала относительную погрешность измерения длины трубчатого эталона, равную $3 \cdot 10^{-8}$.

Наши пути в этом отношении в корне отличаются от путей, намечаемых метрологами других стран. Решение двух поставленных выше задач: 1) выбор основной спектральной линии и 2) разработка методов интерференционных измерений мер длиною свыше 100 *мм*, они пытаются дать одновременно. Считается необходимым при измерении больших концевых мер производить непосредственные сравнения их с длиной световой волны так же, как это имеет место при измерении мер длиною до 100 *мм*. Такие измерения могут производиться только со спектральными линиями, позволяющими наблюдать интерференцию при разностях хода, значительно больших, чем 300—350 *мм*, соответствующих красной линии кадмия.

Если идти по этому пути, то одновременно с расширением пределов измерения до 1000 *мм* должно быть получено и увеличение точности измерения приблизительно в 10 раз.

Естественно, что в этом случае наибольшее значение имеет выбор спектральной линии, дающей возможность наблюдать интерференцию при больших разностях хода. Такой линией может быть только простая линия, не имеющая сверхтонкой структуры. Подобные линии могут излучаться отдельными чётными изотопами. Взамен красной линии кадмия были предложены Кёстерсом [6] линии излучения изотопов криптона Kr^{84} и Kr^{86}; позднее Меггерс обратил внимание исследователей на источник света, наполненный парами ртути Hg^{198}, полученной в результате ядерной реакции [7].

За последние годы были произведены многочисленные сравнения длин волн этого источника непосредственно с длиной волны красной линии кадмия [8].

Основное внимание было сосредоточено на наиболее удобной зелёной линии λ 5461. Эти измерения подтвердили, что ширина зелёной линии ртути меньше ширины красной линии кадмия и с её помощью можно было бы производить непосредственные интерференционные измерения мер длиною до 400 *мм*. Однако и до сих пор исследования не идут дальше сравнений с длиной волны красной линии кадмия и производятся поэтому только при таких разностях хода, при которых можно наблюдать интерференцию, применяя красную линию кадмия.

Длина волны зелёной линии ртути Hg^{198} в новых источниках света оказалась сильно зависящей от давления аргона, неизбежно вводимого в возбуждаемые высокой частотой безэлектродные лампы с целью увеличения интенсивности излучения. Были замечены изменения в длинах волн уже при изменениях давления аргона на 2÷3 *мм* рт. ст. [8], а при переходе к разрядным трубкам, наполненным аргоном при давлении 10 *мм* рт. ст., изменение длины волны доходило до $+0{,}001$ Å.

Такое же явление зависимости длины волны от давления газа было ещё в большей степени обнаружено в лампах, наполненных изотопами криптона [6].

Оказалось, что воспроизводимость длин волн спектральных линий в этих новых источниках света не превышает воспроизводимости длины волны красной линии кадмия.

В этих условиях измеречие длины мер при увеличенных разностях хода представляло бы большие затруднения вследствие неопределённости значения длины световых волн. К этому следует добавить, что разности хода, при которых можно наблюдать интерференцию в новых источниках света, всё же не разрешают задачу непосредственного измерения мер длиною до одного метра.

По нашему мнению, от основной спектральной линии должна требоваться прежде всего высокая точность воспроизведения её длины волны. Повышение точности воспроизведения длины волны по сравнению с красной линией кадмия, как показали приведённые выше исследования, не достигается одним только переходом

к спектральным линиям, лишённым сверхтонкой структуры. Линия должна быть выбрана с учётом особенностей определяющих её уровней энергии. Для того чтобы окончательно перейти на новую спектральную линию, необходимо испытать не один и не два, а большое количество источников света с простыми спектральными линиями.

В этом отношении большое преимущество представляет разработанный в нашей лаборатории Н. Р. Батарчуковой[9] метод выделения отдельных составляющих сверхтонкой структуры сложных спектральных линий с помощью интерференционного монохроматора. Применяя этот метод, мы не должны каждый раз производить сложную работу по выделению отдельных изотопов для того, чтобы иметь простое, не имеющее сверхтонкой структуры, излучение.

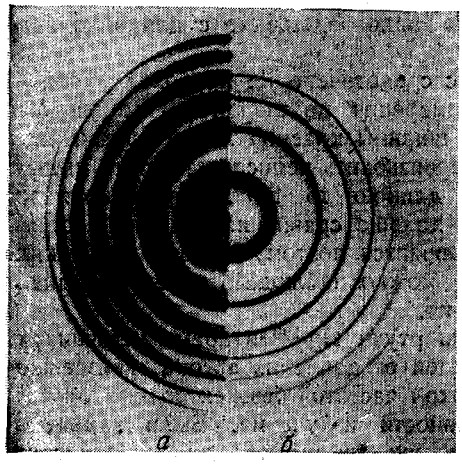


Рис. 3. Интерференционные кольца, соответствующие излучению зелёной линии ртути (разность хода 40 *мм*): а) зелёная линия ртути, излучаемая ртутной дугой с водяным охлаждением; б) отдельная составляющая этой линии, выделенная интерференционным монохроматором.

Основной частью интерференционного монохроматора, его дисперсионной системой, является плоскопараллельная, с двух сторон полупосеребрённая стеклянная пластинка. Подобно тому как призма разлагает свет, излучаемый источником, в спектр, а выходная щель призменного монохроматора выделяет отдельную спектральную линию, плоскопараллельная пластинка разделяет составляющие сверхтонкой структуры, а специально рассчитанная диафрагма с круглым отверстием выделяет центральный интерференционный максимум, соответствующий одной из составляющих сверхтонкой структуры.

Это излучение может исследоваться далее с помощью любого интерференционного прибора.

Выделяя этим способом отдельные составляющие сверхтонкой структуры линии ртути, можно получить излучение, не отличающееся по своей монохроматичности от излучения той же линии в лампе с ртутью Hg^{198}.

На рис. 3 приведена интерферограмма, соответствующая зелёной линии, излучаемой ртутной дугой с водяным охлаждением

(слева) и отдельной составляющей этой линии, соответствующей изотопу Hg^{198}, выделенной с помощью интерференционного монохроматора (справа).

В дальнейшем, из соображения удобства, выделялась одна из интенсивных составляющих зелёной линии ртути, соответствующая излучению нечётного изотопа Hg^{199} (составляющая «А»).

Сравнения длины волны этой составляющей[10] с длиной волны красной линии кадмия при применении как ртутной дуги, так и лампы с накалёнными электродами привели к следующему значению её длины волны:

$$\lambda = 5460{,}8316\ \text{Å}$$

с вероятной погрешностью результата измерения

$$R = \pm 0{,}0001\ \text{Å}.$$

По известной разности длин волн составляющих сверхтонкой структуры можно подсчитать, что длина волны излучения зелёной линии Hg^{198} соответственно равна

$$\lambda = 5460{,}7539\ \text{Å}.$$

Это значение на 8 единиц последнего знака больше значения, полученного в Национальной физической лаборатории в Англии при измерении длины волны излучения безэлектродной лампы, содержащей изотоп ртути Hg^{198} и аргон при давлении 3 *мм* рт. ст.[8].

Полученное расхождение объясняется, с одной стороны, возможной погрешностью в определении положения составляющих сверхтонкой структуры зелёной линии ртути, близко расположенных к центральному максимуму, а с другой стороны, — установленным фактом увеличения длины волны излучения ртути при увеличении давления.

Несмотря на некоторую неустойчивость значения длины волны составляющей «А», излучаемой ртутной дугой, в последнее время в нашей лаборатории удалось применить это излучение для непосредственных измерений на горизонтальном интерферометре плоскопараллельных концевых мер длиною до 400 *мм*. Таким образом, пределы измерения длины плоскопараллельных концевых мер, производимые без применения трубчатого эталона, были расширены почти в 3 раза.

Работы по изысканию новой наиболее выгодной спектральной линии не могут ещё считаться законченными, но дальнейшие систематические исследования новых монохроматических излучений не мешают переходу теперь же на определение метра длиной световой волны.

На основании опыта наших измерений мы предлагаем немедленно принять новое определение метра, положив метр равным установленному числу длин волн основной световой волны. В качестве основной длины световой волны следует пока сохранить длину волны красной линии кадмия.

Такой переход даёт ряд преимуществ в отношении поддержания неизменности единицы длины, воспроизводимой мерами, и позволяет вести дальнейшие работы по увеличению точности измерения как концевых, так и штриховых мер, так как уже красная линия кадмия обеспечивает возможность увеличения точности измерения последних приблизительно в 5 раз.

При переходе на новую более монохроматичную линию понадобится только возможно более точно сравнивать длину волны новой линии с длиной волны красной линии кадмия, подобно тому, как это делается в настоящее время в отношении зелёной линии ртути Hg^{198}.

Значение длины метра, определяемого световой волной, или «светового метра», при переходе от красной линии кадмия к новой линии не изменится, но будет уточнено.

Достигнутое в нашей стране положение, представляющее фактический переход на «световой метр», позволяет нам поддерживать неизменность единицы длины не только в нашей стране, но и в международном масштабе, не прибегая к сравнениям нашего государственного эталона метра с эталонами метра других стран.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. М. Ф. Романова, Г. В. Варлих, А. И. Карташёв, Н. Р. Батарчукова, Сравнение длины волны красной линии кадмия с длиной прототипа метра, ДАН **37**, № 2, 54 (1942).
2. М. Ф. Романова и А. А. Ферхмин, Сверхтонкая структура красной линии кадмия (λ 6438), зелёной (λ 5562) и жёлто-зелёной (λ 5649) криптона, ДАН, № 2, 55 (1933).
3. В. А. Баринов, Современное состояние эталонов длины, 1939 г.
4. М. Ф. Романова и А. И. Карташёв, Исследование интерференционной установки для воспроизведения метра в длинах световых волн, Труды ВНИИМ, вып. 7 (67), 23 (1949).
5. М. Ф. Романова, Е. А. Волкова и Л. К. Каяк, Сравнение длины государственного эталона метра с длиной волны красной линии кадмия, Труды ВНИИМ, вып. 16 (76), 4 (1951).
6. Kösters, О высокомонохроматическом излучении изотопов криптона, Procès-verbaux C. J. d. Poids et Mesures, XXII, 137 (1950).
7. Меггерс, Длина волны излучения искусственной ртути в качестве основного эталона длины, УФН, XXXIV, вып. 1, 105 (1948).
8. H. Barrell, Сравнения эталона длин волн, излучаемого лампой со ртутью Hg^{198}, Proc. Roy. Soc., 209 A, № 1096, 132 (1951).
9. Н. Р. Батарчукова, Интерференционный монохроматор, Труды ВНИИМ, вып. 7 (67), 47 (1949).
10. Н. Р. Батарчукова и А. И. Карташев, Определение длины волны одной из интенсивных составляющих сверхтонкой структуры зелёной линии ртути, Изв. АН СССР, сер. физ. XIV, № 6, 753 (1951).