

ДЛИНА ВОЛНЫ ИЗЛУЧЕНИЯ ИСКУССТВЕННОЙ РТУТИ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВНОГО ЭТАЛОНА ДЛИНЫ

В. Ф. Меггерс *)

Поскольку я сумел установить, мысль использовать длину световой волны в качестве неизменного, воспроизводимого эталона длины впервые была высказана сто двадцать лет назад (в 1827 г.) французским естествоиспытателем Жаком Бабине¹.

„Если бы однажды произошло столкновение Земли с кометой, ось вращения Земли и её форма несомненно изменились бы, и с этого момента измерения длины маятника или дуги меридиана не были бы более пригодны для нахождения метра. Обсуждая однажды этот спекулятивный вопрос в одном из научных обществ Парижа, сэр Гемфрис Деви предложил эталон, который, по его мнению, мог бы быть восстановлен после сильнейших изменений формы земного шара: его единицей длины служил бы диаметр капиллярной стеклянной трубки, в которой поднятие воды было бы строго равно этому диаметру. Обдумывая все трудности опыта, я, в свою очередь, указал на измерения длины световых волн в пустоте, как на метод, который более уверенно привёл бы к той же цели“.

В 1839 г. немецкий астроном Иоган Ламонт² заметил, что дифракция солнечного света обеспечивает точно воспроизводимую единицу длины в виде длины волны фраунгоферовой линии *D*.

„Если бы кто-нибудь, например, в Америке, где получение достоверной копии метра было бы связано с расходами и потерей времени, пожелал бы узнать точную длину этой меры, он смог бы это осуществить, ограничившись только изготовлением дифракционной решётки, путем складывания двух микрометрических винтов с одинаковой резьбой, или путём переноса шага одного микрометрического винта на стекло. Если бы он нашёл, например, что с помощью этой решётки линия *D* в первом спектре получается отклонённой на $4'30''$, то он мог бы сказать, что $2223\frac{1}{4}$ оборота его микрометрического винта по длине в точности равны метру“ (стр. 209).

„С теоретической точки зрения в качестве определения меры было бы целесообразнее избрать длину, остающуюся постоянной при дифракционных явлениях, а именно — длину световой волны.“

*) William F. Meggers, Journ. Opt. Soc. Amer., 38, 7 (1948). Речь, произнесённая 24 октября 1947 г. на ежегодном собрании Американского оптического общества, по случаю вручения Меггерсу медали Айвса 1947 г., присуждённой ему за работы по атомной спектроскопии. Сокращённый перевод Г. Розенберга,

Если опять взять часть спектра, соответствующую линии D , то получим:

1 парижский фут =	551 724	длин волн,
1 метр =	169 845	длин волн,
1 баварский фут =	495 712	длин волн,
1 английский фут =	517 678	длин волн.

Так как при этом длину волны нельзя наблюдать непосредственно, а приходится исчислять с помощью угла отклонения, кажется более удобным определение меры связать с самим углом* (стр. 212).

В 1870 г. английский физик Дж. К. Максвелл указал³, что длины волн излучения водорода должны быть неизменными и поэтому более пригодны в качестве эталона длины, чем Земля.

„В качестве основы для постоянного эталона длины была обмерена Земля и чтобы предохранить материал, из которого был сделан эталон, от каких бы то ни было изменений, — были исследованы все свойства металлов... Однако размеры нашей Земли и время её осращения, весьма постоянные относительно наших современных приёмов сравнения, не являются таковыми по какой-либо физической необходимости. Земля может сжиматься вследствие охлаждения, или увеличиваться из-за оседания на ней падающих на неё метеоритов, скорость её вращения также может постепенно уменьшаться и всё же она будет оставаться планетой в той же мере, как и раньше. Но молекула, скажем, водорода, если её масса или время колебаний хоть немного изменятся, не будет больше молекулой водорода. Если теперь мы хотим получить эталон длины, времени и массы, которые были бы совершенно неизменными, мы должны искать их не в размерах, или движении, или массе планеты, но в длине волны, периоде колебаний и абсолютной массе этих неразрушимых, неизменных и исключительно простых молекул“.

В том же самом году датский физик В. С. М. ван-дер-Виллиген⁴, обсуждая трудности и ошибки, присущие использованию секундного маятника в качестве естественного эталона длины, предложил, чтобы в качестве эталона были избраны линии натрия.

„При этом положении вещей может оказаться полезным привлечь внимание к другой, существующей в природе величине, — величине, которая везде и всегда находится в пределах нашей досягаемости, которая во всякое время и во всяком месте имеет ту же длину и которая совершенно не зависит от границ, устанавливаемых на поверхности Земли, или от астрономических измерений. Этой величиной является длина волны света натрия, или, чтобы сказать более точно, принимая во внимание, что жёлтая линия спектра этого света непременно раздваивается, когда дисперсия становится значительной, — длина средней волны света натрия, конечно, в пустоте. В любом месте Земли ныне, или тысячелетия спустя, пока можно будет иметь в своём распоряжении зерно пшваренной соли, сумеют определить длины волн этих двух колебаний, взять среднее и пользоваться им для проверки измерительных эталонов“ (стр. 153).

Ван-дер-Виллиген был, повидимому, первым кто пришёл к выводу, что длина может быть определена в значениях длин волн путём счёта ньютоновых колец натриевого света, смещаемых медленным приближением плоского стекла к выпуклому⁴.

„Моей первой мыслью было прибегнуть к методу, использованному М. Физо для определения расширения стекла, кварца и других аналогичных материалов. Я хотел, так же как и этот учёный, произвести посте-

пенное сближение плоского и выпуклого стёкол и сосчитать число перемещающихся колец Ньютона в однородном свете натрия. Из известного сближения стёкол можно было бы найти длину волны, и потом путём перемещения нескольких тысяч колец, при достаточном терпении и большом прилежании, получить вещественную длину, равную известному числу длин волн* (стр. 161).

Он сожалел, что этот метод был в то время практически неосуществим и удовлетворился измерениями трёх плоских решёток, из которых вывел приближённое число жёлтых натриевых волн в метре.

А. А. Майкельсон и Е. У. Морли⁵ были первыми, придумавшими действенный метод применения явления оптической интерференции к измерениям длины. В 1887 г. они сделали набросок «метода использования длины волны натриевого света в качестве действительного и практического эталона длины». Этот метод, включавший использование интерферометра, был применён ими для их знаменитых опытов по относительному движению Земли и эфира. Он состоял из измерений длины и счёта эквивалентного числа интерференционных полос. Названная работа содержит также первое упоминание о наблюдении дублетности красного излучения водорода. Исчезновение интерференции при запаздывании на 15 000 и 45 000 волн указывало на двойную линию с компонентами, отстоящими друг от друга примерно на одну шестидесятую расстояния между жёлтыми линиями натрия.

Двумя годами позднее, в статье, озаглавленной «К возможности установления световой волны в качестве основного эталона длины», Майкельсон и Морли⁶ описывают метод, использованный в дальнейшем при измерениях метра, и сообщают первые интерферометрические значения длин волн для одной линии натрия, одной линии лития и трёх ртутных линий. В следующих цитатах содержатся важные замечания об излучении ртути.

„В проблеме превращения световой волны в эталон длины желательно использовать, как вспомогательный эталон, металлический брусок с двумя плоскими поверхностями, отстоящими друг от друга на возможно большее расстояние, при котором интерференция (между двумя световыми пучками, имеющими эту разность хода) может быть ещё хорошо измерена. Предварительные опыты показали, что в случае зелёной волны ртути расстояние это может составлять четверть метра“ (стр. 181).

„Жёлтый ртутный свет неудобен, так как является двойным, причём оба излучения имеют почти одинаковую интенсивность... Яркая зелёная (ртутная) линия даёт очень отчётливые круги, даже если разность хода составляет полмиллиона волн, так что, по всей вероятности, именно она будет служить волной, используемой в качестве основного эталона длины“ (стр. 183).

В своей второй работе, «К применению интерференционного метода к спектроскопическим измерениям», Майкельсон⁷ даёт «кривую наблюдаемости» для линий кислорода, натрия, цинка, кадмия, таллия и ртути. Эта работа знаменует открытие сверхтонкой струк-

туры спектральных линий и отказ, по крайней мере временный, от зелёной линии ртути (5461 Å), как основного эталона длины.

„Зеленая линия ртути является одной из наиболее сложных из числа исследованных“ (стр. 292).

Мы легко можем представить себе разочарование Майкельсона, когда он сделал это открытие, развенчавшее зеленую линию ртути в качестве основного эталона длины.

„Основной целью этого исследования было отыскание излучения, достаточно однородного для использования его в качестве эталона длины .. Красная линия кадмия почти идеально однородна и позволяет легко оценить разность фаз интерференционных полос в одну сотую полосы при полном расстоянии в 20J миллиметров, или свыше 300 000 волн“ (стр. 298).

Эти классические исследования привели к приглашению Майкельсона в Международную палату мер и весов, где в 1892 г. он выполнил свой знаменитый опыт, посредством которого определил число красных волн кадмия в метре.

До классических исследований Майкельсона все спектральные линии рассматривались как монохроматические и неизменные, исключая указанное Допплером в 1842 г. очевидное изменение длины волны, вызванное относительным движением источника света и наблюдателя вдоль линии зрения. Естественно, Допплер-эффект исчезает, когда источник света и наблюдатель неподвижны, как это обычно имеет место в лабораторных условиях. Однако кинетическая энергия отдельных излучающих частиц обуславливает доплеровское расширение спектральных линий, ограничивающее их монохроматичность. Действительно, при низких давлениях и в отсутствии сильных электрических полей ширина спектральных линий полностью определяется доплеровским эффектом, обусловленным движением излучающих свет частиц. В единицах длин волн эта ширина пропорциональна $\lambda \left(\frac{T}{M} \right)^{1/2}$, где λ — средняя длина волны, T — абсолютная температура и M — атомный вес. Иными словами, наиболее монохроматичные линии излучаются массивными, медленно движущимися атомами. Вследствие того, что атом ртути почти вдвое тяжелее атома кадмия и его излучение может быть возбуждено при абсолютной температуре, составляющей менее половины температуры, необходимой для возбуждения свечения кадмия, линии ртути, при прочих равных условиях, имеют только половинную доплеровскую ширину по сравнению с линиями кадмия.

Открывая Майкельсоном сверхтонкая структура сужила предмет исследований и размышлений в течение сорока лет, прежде чем была, наконец, удовлетворительно объяснена как следствие ядерных масс и моментов. Так как эффективные длины волн сложных линий при интерферометрических измерениях меняются в зависимости от соотношения фаз различных компонент и так как относительные интенсивности компонент могут варьировать, совершенно необходимо, при выборе естественного эталона длины, избе-

тать линий со сверхтонкой структурой. Однако, просто присутствие более чем одного изотопа или одного или более ядер со спиновым моментом не влечёт ещё за собой непригодности всех спектральных линий. Так, несмотря на то что кадмий имеет восемь изотопических форм и два ядерных спина, у майкельсоновской красной линии не обнаружено ни изотопической, ни сверхтонкой структуры, хотя она отчётливо наблюдается у остальных линий кадмия. Естественная ртуть является смесью семи изотопов, в том числе двух со спинами, причём ни одна из линий обычной ртути не оказалась свободной от структуры. В 1931 г. я высказал мысль, что резкие линии можно было бы получить от изотопа ртути, обладающего чётной массой, если бы оказалось возможным выделить его в достаточном количестве с помощью масс-спектрографа. Из этого предложения тогда ничего не вышло, ибо соответствующее разделение изотопов ртути обошлось бы слишком дорого.

В своих исследованиях структуры линий Майкельсон⁷ обнаружил, что

„влияние температуры и давления на наблюдаемость может быть хорошо объяснено кинетической теорией. Действительно, почти несомненно, что главными, если не единственными, причинами расширения спектральных линий и соответствующего ухудшения наблюдаемости являются изменения длины волны света, обусловленные движением источника вдоль линии зрения, а также изменения периода источника вследствие частых соударений“ (стр. 293).

Более поздняя работа У. Дж. Гемфриса и Дж. Ф. Молера⁸ доказала, что возрастание давления не только ведёт к расширению спектральных линий, но вызывает также их асимметрию и смещение в сторону длинных волн.

Единственной другой эффективной причиной асимметрии и смещения линий является открытый в 1913 г. Штарк-эффект. В отличие от магнитного расщепления спектральных линий (эффекта Зеемана), которое, вообще говоря, в высшей степени симметрично и в обычных источниках совершенно неуловимо, электрическое расщепление или смещение обычно несимметрично и легко смешивается с эффектом давления. В источниках света электрические поля могут создаваться как приложенными потенциалами, так и высокой плотностью электронов или ионов в разряде.

Хотя эти основные причины смещения спектральных линий — эффект давления и эффект Штарка — были ещё неизвестны в 1892 г., Майкельсон интуитивно избегал их влияния, так как его источники света работали при низких давлениях и с малой плотностью тока. Ныне, пятьдесят пять лет спустя, мы останавливаемся в восхищении перед его удивительным искусством, проявленным при выборе, с помощью его примитивного интерферометра, красной кадмиевой линии в качестве основного эталона длины. После исследования всего спектра с улучшенной аппаратурой мы должны признать, что он выбрал лучшую линию в природе.

Классический опыт Майкельсона, которым он определил соотношение между метром и длиной волны красной кадмиевой линии, был несколько раз повторён, и его результаты были полностью подтверждены⁹.

В 1907 г. Международный союз согласования солнечных исследований установил в качестве определения единицы длины волны — ангстрема — значение длины волны красной линии кадмия 6438, 4696 Å, наблюденное Бенуа, Фабри и Перо в 1906 г. Это же значение было принято в 1922 г. Международным Астрономическим Союзом, преемником Международного союза согласования солнечных исследований, распавшегося во время первой мировой войны. Уже достаточно старо, чтобы стоило напоминать, что мировые бедствия всегда вызывали опасения, как бы мировой прототип метра, хранящийся близ Парижа, не стал бы жертвой несчастного случая. Единственный путь избежать этого состоит в замене доступного разрушению метра не разрушаемой, но точно и легко воспроизводимой длиной волны в качестве основного эталона длины.

В 1927 г. Национальное бюро стандартов рекомендовало Международной конференции мер и весов избрать длину волны красного излучения паров кадмия в качестве первичного эталона длины волны и определить метр в значениях этой длины волны¹⁰.

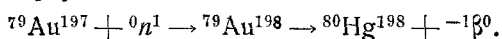
«Рекомендуется, чтобы Конференция приняла длину волны красного излучения, испускаемого парами кадмия, определённую Бенуа, Фабри и Перо, в качестве основного эталона длины волны света... Метр должен быть определён отношением: 1 метр = 1 553 161,13 длин волн красного излучения кадмия при вполне определённых нормальных условиях».

Ультраконсервативная конференция сочла¹¹, что такое определение метра было бы угрозой для метрической системы и разъяснила, что вопросом является не установление истинного соотношения между метром и длиной волны, но только определение метрического значения последней, которое могло бы быть изменено последующими опытами. Поэтому принятое ею решение специально устанавливало, что значение метра предварительным образом выражается в длинах волн красных лучей кадмия числом 1 553 164,13. Предположительно, если в будущем будут найдены отличные значения, метр должен быть принят неизменным и каждая из длин волн, или ангстрем, должна быть изменена.

Строго говоря, мировым первичным эталоном длины является, попрежнему, установленное в восемнадцатом столетии расстояние между двумя штрихами (от 6 до 8 μ шириной) на платиново-иридиевом бруске, хранящемся в Международной палате близ Парижа, несмотря на тот факт, что практически все точные измерения длины в двадцатом столетии были сделаны и впредь будут делаться со световыми волнами. Кто стал бы горевать о гибели произвольного архаичного измерительного стержня, когда доступен лучший, встречающий научное признание эталон!

Атомные исследования и ядерная техника создали методы и возможности для трансмутации и производства отсутствующих в природе чистых элементов в больших масштабах. В частности, теперь возможно в желательном количестве изготовить из золота абсолютно чистую ртуть (в противоположность алхимии) и использовать её в качестве материала для создания спектроскопического источника света, излучающего спектральные линии, вдвое более резкие, чем лучшие из излучаемых естественными элементами.

Ядерная реакция превращения золота впервые была осуществлена в 1934 г. Ферми и др.¹², использовавшими в качестве источника нейтронов для облучения золота смесь бериллиевой пудры и радона. Нейтроны захватываются ядрами атомов золота и образуют тяжёлый радиоактивный изотоп золота, который довольно быстро претерпевает β -распад (период полураспада 2,7 дня) и превращается в стабильный изотоп ртути:



В 1940 г. Вин и Альварец¹³ сообщили, что, бомбардируя золото нейтронами от 60-дюймового циклотрона, они получили достаточное количество ртути, чтобы создать источник света, излучающий спектральные линии, совершенно свободные от сверхтонкой структуры. Облучая нейтронами 31 грамм золота в течение недели, они получили достаточно ртути, чтобы идентифицировать её спектроскопически в крошечных безэлектродных лампах, срок службы которых составлял около одной минуты. Месячная экспозиция создала количество ртути, достаточное для работы лампы в течение примерно пяти минут и получения первой спектрограммы Фабри-Перо. Десятимесячная экспозиция близ циклотрона обеспечила наполнение разрядной трубки, проработавшей более тридцати минут¹⁴. При таком соотношении потребовалась бы тысяча лет для создания одной лампы с Hg^{198} , обладающей обычным сроком службы — около тысячи часов.

На спектроскопической конференции в Чикаго в 1942 г., обсуждая первичный эталон длины волны¹⁵, я привлек внимание к теоретическим преимуществам зелёной линии ртути по сравнению с красной линией кадмия, особенно если станут доступными достаточные количества Hg^{198} . В 1942 г. Л. Дж. Бриггс, тогда директор Национального бюро стандартов, одобрил приобретение 1250 г червонного золота и заручился сотрудничеством Калифорнийского университета для облучения этого золота в течение одного или более года. Замысел состоял в том, что если из 30 г золота можно было получить достаточно ртути для наполнения одной лампы, то 1250 г обеспечили бы изготовление сорока ламп того же типа, или, возможно, нескольких более эффективных ламп. К несчастью, вторая мировая война прервала опыты и были изготовлены только субмикроскопические количества искусственной ртути. Из неё в 1943 г.

было изготовлено несколько крошечных разрядных трубок, но по размерам, яркости и времени жизни они напоминали чахлых светляков и не имели практического значения.

Перспективы были весьма обескураживающими, когда, незадолго до конца войны, появились слухи о секретном источнике нейтронов, в тысячи раз более эффективном, чем наибольший из циклотронов. Однажды нам был доставлен золотой слиток, история которого сохранялась в секрете. Было сказано только, что золото содержит Hg¹⁹⁸. Последовательные дистилляции обеспечили, в конце концов, создание лампы, излучающей спектр ртути, линии которого не имели сверхтонкой структуры. Эта лампа возбуждалась радиоволнами с частотой 110 килоциклов. Она была использована главным образом для демонстраций и имела срок службы около пятидесяти часов, прежде чем вышла из строя вследствие жестчения (clean-up), т. е. уменьшения давления паров ртути, под действием электрического разряда.

Опыты с лампами, содержащими микрограммы, или даже несколько миллиграммов ртути, показали, что эффект жестчения серьезно ограничивает срок службы подобных ламп. В безэлектродных лампах под действием разряда происходит постепенное внедрение ртути в стекло, влекущее за собой потемнение стенок трубки. В лампах с электродами электроды в процессе распыления, или в результате того же процесса внедрения имеют тенденцию поглощать ртуть до тех пор, пока в лампе совсем не остаётся её паров.

В 1945 г. золото Национального бюро стандартов было переправлено из Калифорнии в Теннесси. Процесс обработки этого золота попрежнему оставался в секрете, но годом позже мы извлекли из него путём дистилляции около 60 мг ртути.

Располагая только 60 мг Hg¹⁹⁸ и имея в виду многочисленные требования, предъявляемые к лампам, было необходимо по возможности экономить Hg¹⁹⁸ и постараться сконструировать удовлетворительную лампу с минимальными потерями драгоценного материала вследствие жестчения.

В июле прошлого года Э. Ю. Кондон, ныне директор Национального бюро стандартов, предложил Комиссии по атомной энергии произвести облучение нейтронами несколько большего количества золота. Время, место и способ обработки сохраняются в секрете, но мы надеемся получить в течение года примерно два грамма искусственной ртути. Между тем производятся опыты с естественной ртутью и с полученными нами ранее 60 мг Hg¹⁹⁸, имеющие целью разработку спектроскопического источника света, который был бы приспособлен для тщательных измерений длины волны.

При конструировании лампы с Hg¹⁹⁸, предназначенной для создания излучения, пригодного в качестве основного эталона длины, желательно достижение максимально возможного в отношении каждой из следующих пяти характеристик:

1) монохроматичность, 2) воспроизводимость, 3) интенсивность, 4) срок службы и 5) удобство в обращении.

Очевидно, что некоторые из этих требований противоречат друг другу и, вообще говоря, необходимо прибегнуть к компромиссу.

1) Монохроматичность или резкость спектральных линий зависит от условий работы источника света, так же как и от некоторых, уже упоминавшихся, атомных свойств. Чтобы получить тонкие линии с атомами данной массы, необходимо уменьшить доплеровское расширение, за которое ответственна высокая температура, расширение, обусловленное действием давления и соударений, а также резонансное расширение, за которые ответственна высокая плотность газа или пара, штарковское расширение, создаваемое большими градиентами электрического потенциала, и межатомное штарковское расширение, обусловленное высокой плотностью тока в разряде. Иными словами, источник должен работать при низкой температуре, низком давлении, умеренном напряжении и малой плотности тока. Если необходима высокая интенсивность, то в какой-то мере приходится приносить в жертву резкость линий.

2) Воспроизводимость длин волн, излучаемых источником света, покоится на постоянстве давления газа или пара, на малой плотности тока и на отсутствии самообращения и сверхтонкой структуры. Изменения давления всегда сопровождаются малыми изменениями длины волны, а межатомный эффект Штарка, проявляющийся в случае сильного тока, всегда вызывает асимметричное смещение линий. Например, можно показать, что возрастание длины волны красной линии, излучаемой дугой в парах металлического кадмия, составляет при силе тока в 2,5 и 5,0 ампер 0,0003 и 0,0007 Å соответственно. Самообращение часто оказывается также несимметричным, но даже в случае его симметричности оно является нежелательным, ибо уменьшает интенсивность и может вести к ошибочной интерпретации интерференционной картины. Самообращение становится неощутимым, если избегать линий, соответствующих переходам в основное состояние, или если отшнуровавшийся разряд рассматривать не вдоль, а поперёк светящегося столба. Довольно очевидно, что относительная интенсивность компонент сверхтонкой структуры зависит от условий работы источника света и в достаточной мере доказано, что неразрешённая тонкая структура искажает истинные значения длин волн спектральных линий.

3) Интенсивность или яркость лампы, наполненной парами металла, является функцией, главным образом, силы тока на единицу поперечного сечения разряда. Последняя может возрастать как вследствие уменьшения сопротивления цепи, влекущего за собой возрастание силы тока, так и вследствие уменьшения поперечного сечения разряда при его шнуровании. Кроме того интенсивность можно повысить, если длинный столб светящихся паров рассматривать вдоль, а не поперёк его оси. Вообще, однако, увеличение плотности тока

сопровождается ростом температуры и давления, а также усилением межатомного штарк-эффекта, что влечёт за собой уширение спектральных линий. Поэтому, при работе майкельсоновской лампы, для получения кадмиевой красной эталонной линии плотность тока ограничивается семью миллиамперами на квадратный миллиметр сечения разряда.

Расширение линий, обусловленное соударениями с атомами того же сорта, что и излучающие, в некоторых случаях может быть сильно уменьшено путем введения в лампу благородных газов (под давлением в несколько миллиметров ртутного столба), поскольку влияние давления постороннего газа много слабее, чем разбавляемого излучающего газа. Кроме того, соударения второго рода с ионами благородного газа существенно увеличивают интенсивность излучаемого света.

Наивысшие интенсивности обычно получаются при дуговом разряде с горячим катодом, но если ток достаточно мал, чтобы сделать пренебрежимым расширение и смещение линий, то преимущества в интенсивности теряются. Подобная же потеря интенсивности происходит, если, с целью сделать линии более резкими, производится уменьшение давления паров путем сильного охлаждения. Высокая интенсивность неизбежно должна быть принесена в жертву, когда более важными являются монохроматичность и воспроизводимость. Наблюдаемая интенсивность некоторых спектральных линий поразительно уменьшается за счёт частичного или полного самообращения в источнике света, если температура или возбуждение не везде одинаковы.

4) Исключая случайности, срок службы лампы, содержащей ничтожные количества газа или пара, определяется временем жестчения. Оно сравнительно мало в безэлектродных лампах, возбуждаемых высокочастотным разрядом, безвозвратно внедряющим атомы газа или металла в стеклянные стенки сосуда, вследствие чего стенки лампы темнеют. В лампах с внутренними электродами так же происходит жестчение или путем абсорбции заряженных газов и паров, или путём их захвата в процессе распыления материала, из которого изготовлены электроды. Механизм жестчения еще полностью не понят и не может быть предугадан для случая ламп с Hg^{198} , но делаются опыты с малыми количествами естественной ртути и с лампами различных типов, изготовленными из разных материалов, с целью определения условий, которые гарантировали бы срок службы в тысячу часов или более. Если и когда будет изготовлено много большее количество искусственной ртути, неизбежные потери на жестчение станут менее существенными. По моему мнению, это хороший аргумент в пользу того, чтобы при проектировании новых котлов с цепными реакциями в качестве контрольного элемента использовать вместо кадмия золото. Как раньше, так и теперь, используя кадмий, не получали полезных побочных продуктов, как это имело бы место в случае превращения золота в Hg^{198} .

5) Удобство работы является важным фактором, определяющим возможность широкого распространения спектроскопических источ-

ников света и использования их для точных измерений. Собственно из-за неудобства работы с эталонной кадмиевой лампой с нагревателем этот источник использовался крайне редко, исключая измерения метра и определения вторичных эталонов длин волн.

Хотя практически превосходная монохроматичность достижима при поперечном наблюдении направленного атомного пучка, такой источник слишком неэффективен и неудобен, чтобы его рассматривать в связи с установлением эталона длины. Довольно интенсивный спектр с очень резкими линиями наблюдается в разряде с охлажденным полым катодом, но этот источник столь неудобен в обращении, что его использование ограничивается почти исключительно изучением сверхтонкой структуры самыми квалифицированными спектроскопистами.

Дуга с горячим катодом в парах ртути, работающая на обычном напряжении коммерческой сети, является непревзойденной по удобству, яркости и времени жизни, но она требует более чем нескольких миллиграммов ртути и приносит в жертву интенсивности монохроматичность и воспроизводимость¹⁵. Такой источник не может быть рекомендован как основной эталон, но он будет, конечно, употребляться в тех случаях, когда наиболее важными требованиями являются удобство и интенсивность.

Предельная простота конструкции достигается в безэлектродных разрядных трубках, которые получают запаиванием малого количества газа или пара в откачанной стеклянной или кварцевой трубке. В прежнее время возбуждение производилось высокочастотным тесловским разрядом, но последние годы для этой цели применяется простой и удобный радиочастотный генератор очень коротких волн. Этим способом может быть получено интенсивное излучение паров при крайне низких давлениях, но рабочее давление требует довольно тщательного подбора. Серьезным недостатком этого типа источников является сравнительно быстрое жестчение, вследствие проникновения частиц пара в стенки трубки.

Ясно, что наиболее удобным и практичным источником света является гейслерова трубка, специально созданная для получения спектров газов при малых давлениях. Кадмиевая лампа Майкельсона по существу также является гейслеровой трубкой, но необходимостью заключения её в нагреватель, поддерживающий температуру от 300 до 320° С, влечёт за собой нежелательное доплеровское расширение линий, так же как и неудобства пользования ею. Поскольку ртуть имеет заметное давление паров даже при температурах ниже нуля градусов Цельсия, в гейслеровой трубке можно возбудить излучение резких ртутных спектральных линий. Эти трубки нормально работают с холодным катодом и могут, при желании, охлаждаться воздухом или водой. Они требуют приложения потенциалов всего в несколько тысяч вольт и силы тока в несколько миллиампер.

В октябре 1947 г. я изготовил безэлектродную лампу из пайрекса, а Н. К. Бис — две лампы из вайкорового стекла с внутренними

молибденовыми электродами. Каждая из этих ламп содержит 5 миллиграммов Hg^{198} и аргон под давлением 5 миллиметров ртутного столба. Также были изготовлены не наполненные газом лампы из вайкорового стекла и плавленнного кварца с цирконовыми электродами и капилляром, приспособленным для водяного охлаждения и наблюдения как вдоль, так и поперёк свегающегося столба. Рабочие характеристики этих экспериментальных ламп будут изучаться с целью выяснения, какой именно из типов ламп может быть рекомендован в качестве удовлетворительного источника для основного эталона длины.

С помощью интерферометра Фабри-Перо с 25-миллиметровым эталоном были определены предварительные значения длин волн джоини линий Hg^{198} , расположенных в интервале между 3341 и 5791 Å, относительно первичного эталона длины волны. Публикация наблюденных длин волн Hg^{198} будет отложена до получения окончательных значений. Сейчас достаточно сказать, что предварительные значения, проанализированные с помощью комбинационного принципа спектроскопии, оказались верными с точностью до одной двадцатимиллионной, тогда как лучшие измерения, сделанные с естественной ртутью, давали отклонения в одну сотысячную, вызываемые, несомненно, искажением длин волн неразрешённой сверхтонкой структурой.

Будущая доступность удовлетворительных ламп, излучающих превосходный эталон длины, обуславливается превращением большого количества Au^{197} в Hg^{196} и усовершенствованием конструкции ламп для уменьшения их жестчения.

Представляется несомненным, что прогрессивный научный мир будет приветствовать принятие длины волны зеленой линии Hg^{198} 5461 Å (и, возможно, инфракрасной линии 10140 Å для больших длин) в качестве основного эталона длины.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. J. Babinet, Ann. Chim. et Physique, **40**, 177 (1829).
2. J. Lamont, Jahrbuch d. Königl. Sternwarte bei München, **3**, 188 (1839).
3. J. C. Maxwell, Rep. Brit. Ass. Nat. and Abstr., стр. 7 (1870).
4. V. S. M. van der Willigen, Archives Musée Teyler, **3**, 142 (1870).
5. A. A. Michelson and E. W. Morley, Am. J. Sci., **34**, 427 (1887).
6. A. A. Michelson and E. W. Morley, Am. J. Sci., **38**, 181 (1889).
7. A. A. Michelson, Phil. Mag., **34**, 280 (1892).
8. W. I. Humphreys and I. F. Mohler, Astrophys. J., **3**, 114 (1896).
9. I. E. Sears, Sci. Progr., **31**, 209 (1936).
10. Proces. Verbaux Seances Con. Int. Poids Mesures, **12**, 64 (1927).
11. Trav. Mem. Bur. Int. Poids Mesures, **18**, 53 (1930).
12. E. Fermi, E. Amaldi, O. D'Agostino, F. Rasetti and E. Segré, Proc. Roy. Soc., **146 A**, 483 (1934).
13. I. H. Wiens and L. W. Alvarez, Phys. Rev., **58**, 1005 (1940).
14. I. H. Wiens, Phys. Rev., **70**, 910 (1946).
15. W. F. Meggers, Rev. Mod. Phys., **14**, 59 (1942).