

НОВАЯ ШКАЛА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН.

А. А. Глаголева-Аркадьева.

Двадцать пять лет тому назад П. Н. Лебедев приблизительно под таким же названием опубликовал статью, содержащую таблицу электромагнитных колебаний, которыми располагали в то время исследователи для своих работ. Шкала электромагнитных волн уже тогда заключала в себе довольно обширные области, распадавшиеся по методике их получения на две группы. Первая группа обнимала собой область электрических колебаний, получающихся в динамомашинах и при разрядах конденсаторов; к ней относились колебания в индукторе Вебера в одно колебание в секунду; переменный ток городской электрической осветительной станции в 50 колебаний в секунду; полученные Лоджем 500 колебаний в секунду при разряде большой батареи через самоиндукцию и искру, дававшую музыкальный звук; колебания порядка 10^4 в динамомашине Тесла; порядка 10^5 в секунду, полученные Феддерсеном при искровом разряде конденсатора; затем волны вибратора Герца порядка 10^8 колебаний в секунду, соответствующие длинам волн до 60 см; волны вибратора Риги длиной от 15 до 3 см и, наконец, волны Лебедева в 6 мм. Таким образом эта область шкалы волн заключала в себе 36 октав, что соответствует длинам волн от 250 000 км до 6 мм.

Вторая область шкалы волн, характеризующаяся иным методом возбуждения электромагнитных колебаний, главным образом методом накаливаемого тела, менее обширная, чем первая, заключала в себе видимый спектр с прилегающими к нему с одной стороны — невидимыми инфракрасными и тепловыми лучами до 62 μ , с другой — также невидимыми ультрафиолетовыми лучами до 0,1 μ длины волны. Эта область шкалы простиралась только на 9 октав. Между нею и первой областью оставался пробел, более трех октав, заполнение которого имело очень большое значение в смысле опытного подтверждения тождества природы волн световых и электромагнитных.

За пределами ультрафиолетовых волн была совершенно неизвестная область. Несмотря на то, что лучи Рентгена в то время уже

были открыты, они не имели места на шкале электромагнитных волн, так как природа их оставалась еще невыясненной. Только в виде гипотезы высказывалась мысль об электромагнитной природе их; П. Н. Лебедев в своей статье пишет:

„Во всяком случае, в изучении более коротких ультрафиолетовых волн открывается заманчивая перспектива связать уже известную нам оптику с лучами Рентгена и Беккереля“.

Эти предположения в настоящее время уже оправдались. За последние 14 лет был сделан ряд блестящих открытий и замечательнейших исследований, широко обогативших науку. Исследователи теперь располагают шкалой волн, не только сильно расширившей свои границы и дополнившейся новой громадной областью — лучей Рентгена и лучей γ , но и ставшей непрерывной, благодаря заполнению двух промежутков, долгое время существовавших на ней между смежными областями. Поэтому краткий обзор всей шкалы волн в свете новых данных является очень своевременным.

Область электрических колебаний, возникающих при разрядах конденсаторов и в динамомашинах, в настоящее время простирается на 40 октав. Для возбуждения колебаний с помощью разряда конденсаторов пользуются схемой (рис. 1), состоящей из емкости C и самоиндукции L . При разряде конденсатора в контуре устанавливаются затухающие электрические колебания, период которых вычисляется по формуле

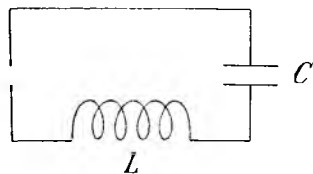


Рис. 1. Схема колебательного контура.

$$T = 2\pi \sqrt{LC}.$$

Длина волны, соответствующая этим колебаниям, определяется из соотношения

$$\lambda = cT,$$

где λ — длина волны, а c — скорость света. При различных значениях L и C по этому методу можно получать электрические колебания с периодом, меняющимся в очень широких пределах. Нижним пределом при очень больших значениях L и C являются самые медленные, известные до сих пор колебания, соответствующие электромагнитным волнам длиной до двух миллионов километров. Эти колебания наблюдались Мартинсеном (Martienssen) в 1910 году при разряде конденсатора, имевшего емкость в 1000 мф, через самоиндукцию в 1000 генри. Период колебания, следовательно, был равен 6,3 секунды, т.-е. одно колебание длилось целых 6,3 секунды; переменный ток разряда наблюдался с помощью обыкновенного амперметра посто-

янного тока, стрелка которого попеременно отклонялась то вправо, то влево, успокаиваясь через пять полных периодов, или через 31,5 секунды. Это означает, что весь колебательный процесс одного разряда конденсатора длился более полминуты.

Чтобы получить быстрые электрические колебания, как известно, Герц еще в 1887 году придал несколько иной вид колебательному контуру; стремясь уменьшить емкость и самоиндукцию, он весь колебательный контур составил из двух цилиндров с шариками на внутренних концах, т.-е. прежний контур *a* (рис. 2) он выпрямил в *b*, самоиндукцию *L* спирали заменил малой самоиндукцией самих цилиндров, а уменьшения емкости достиг тем, что

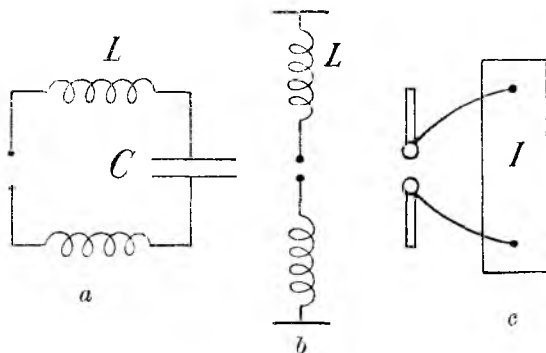


Рис. 2. Вибратор Герца.

облачки конденсатора *C* раздвинул на противоположные концы выпрямленного контура и затем совсем уничтожил их, оставив только емкость, образуемую внешними концами самих цилиндров. Построенный таким образом вибратор Герца *c*, возбуждаемый искрами от индуктора *J*, излучал волны, длина которых оказалась связанной с длиной *l* самого вибратора простым соотношением $\lambda = 2l$.

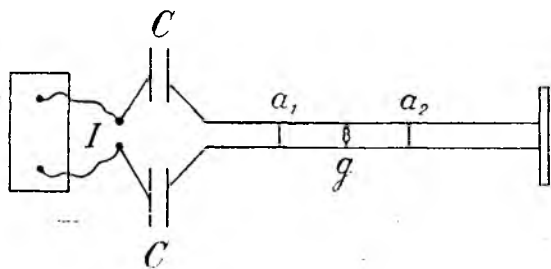


Рис. 3. Система Лехера.

По методу вибратора Герца в настоящее время получены очень короткие электромагнитные волны, о которых будет сказано ниже.

Электрические колебания распространяются в свободном пространстве или в проволоках. В первом случае длины волн вычисля-

ются по приведенной выше формуле или измеряются по методу стоячих волн, образующихся при отражении их от плоского зеркала; индикаторами волн служат резонаторы с искровым промежутком или с термоэлементом, связанным с гальванометром. Во втором случае, когда волны идут по проволокам, длины их измеряются с помощью стоячих волн, образующихся в проволоках. Очень удобную схему для измерений с волнами, распространяющимися в проволоках, предложил Лехер. Его система (рис. 3) состоит из двух параллельных медных проволок, оканчивающихся конденсаторами *CC*; *I* — искровой проме-

жүток, соединенный с клеммами индуктора. Между проволоками перекинут металлический мостик a_1 ; при проскакивании искры в контуре, ограниченном мостиком, возникают электрические колебания определенного периода. Длина соответствующей им волны измеряется с помощью второго мостика a_2 , который перемещается по проволокам до тех пор, пока контур, ограниченный мостиками a_1 и a_2 не настроится в резонанс с основным контуром; расстояние между мостиками равно $\frac{\lambda}{2}$; обнаруживаются волны с помощью гейслеровой или безэлектродной трубки g , которая светится только при условии резонанса второго контура. Таким способом Лехер измерил волны до 4 м.

Наиболее короткие волны, бегущие по проволокам, получил В. К. Аркадьев. Схема, которой он пользовался, представлена на рис. 4. V — вибратор Герца в 3 мм длины — поддерживается стеклянными трубочками aa ; f — поперечное сечение каучуковой трубочки, содержащей ацетон, в котором происходят возбуждающие колебания

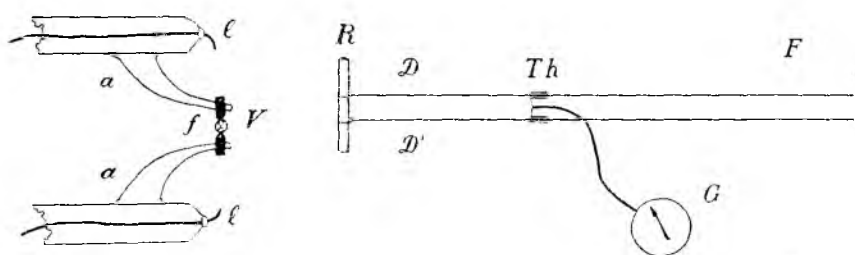


Рис. 4. Прибор для получения токов крайне высокой частоты.

искровые разряды индуктора: se — проволоочки, подводящие искру, R — резонатор, связанный с двумя длинными параллельными проволочками DD_1 . Благодаря отражению волн от мостика с термоэлементом T между R и T образуются стоячие волны; перемещая термоэлемент по проволокам, находят положения, при которых соединенный с термоэлементом гальванометр G дает наибольшие отклонения; эти места характеризуют максимум тока в мостике или минимум электрического напряжения, т.е. узел в стоячей волне; определив положение узлов, непосредственно измеряют длину волны. Полученные по этому способу В. К. Аркадьевым самые короткие волны, длиной в 11 мм, являются пока предельными. В этом случае по проволокам течет переменный ток необычайно высокой частоты — до $2,7 \cdot 10^{10}$ периодов в секунду.

Период электрических колебаний в динамомашинах зависит от скорости вращения якоря и числа магнитных полюсов и также может варьироваться в очень больших пределах. Всем хорошо известно, что переменный ток городской электрической осветительной станции представляет собой электрические колебания довольно большого пе-

риода — 0,02 секунды. Так как длина волны, соответствующая этим колебаниям, достигает 6000 км, то в коротких проводниках переменный ток городской станции представляет собой движение электричества, периодически меняющего свое направление одновременно по всей сети городского тока.

Динамомашинa Тесла (Nikolas Tesla) имела 384 неподвижных полюса и вращалась со скоростью 3000 оборотов в минуту; при этих условиях частота электрических колебаний равнялась 9600, или период одного колебания длился приблизительно одну десятитысячную долю секунды. При дальнейшем увеличении частоты колебаний встретились большие технические затруднения, связанные с достижением больших скоростей якоря машины. Наибольшая известная до сих пор частота электрических колебаний, равная 100000 колебаний в одну се-

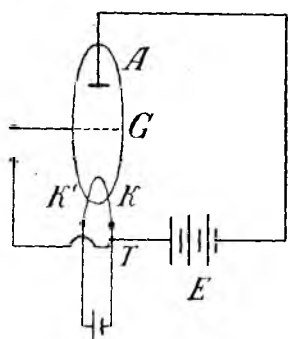


Рис. 5. Схема действия пустотной лампы с сеткой.

кунду, была достигнута Александрсоном (Alexanderson) в 1910 году в его машине высокой частоты, применяющейся в качестве источника электромагнитных волн на радиостанциях. Машина Александрсона имеет железный диск с 300 зубцов, вращающийся со скоростью 20000 оборотов в минуту; неподвижные части машины содержат в себе не только витки для возбуждения, но и якорные обмотки. Достигнутой при таких условиях указанной выше частоте колебаний соответствует длина волны в 3 километра.

Очень большие успехи были достигнуты в последнее время в области получения электромагнитных волн длиной от нескольких километров до нескольких сантиметров, — волн, получивших громадное практическое применение в радиотехнике. Вибратор Герца, а также динамомашины высокой частоты, сыгравшие большую роль в начальный и средний периоды развития радиотелеграфии и телефонии, в последние годы, при стремлении техники построить работу радиостанций на коротких волнах, почти совершенно вытеснены новым источником электромагнитных волн, так называемым ламповым генератором незатухающих колебаний. В основу нового метода положена пустотная лампа, имеющая три электрода. KK' — нить накала (рис. 5), представляющая собою катод, A — анод, G — сетка. Схема включения лампы имеет три цепи: цепь накала, цепь анода или цилиндра и цепь сетки. Точка T является общей всем трем цепям. Лампа по желанию может служить усилителем, детектором и генератором. Схема ее действия следующая: при определенном накале нить KK' начинает испускать электроны; под напряжением батареи E от анода к нити начинает идти ток; если на сетку наложить потенциал, то при положительном потенциале сетки ток

в анодной цепи усиливается, так как положительный потенциал сетки способствует движению электронов к аноду; если же на сетку наложен отрицательный потенциал, движение электронов к аноду затрудняется или совсем прекращается.

Применяя эти рассуждения к схеме генератора незатухающих колебаний, можно представить себе его действие. В цепь анода или цилиндра (рис. 6) включается первичная I обмотка трансформатора, в цепь сетки — вторичная II обмотка трансформатора. Вторичная катушка II должна быть включена так, чтобы при возрастании тока в первичной обмотке I сетке давался отрицательный потенциал. Генератор начинает действовать при замыкании цепи накала нити. Ток в цепи анода, благодаря самоиндукции катушки I, возрастает постепенно. При возрастании тока в первичной катушке на сетку налагается отрицательный потенциал, и сила тока в цепи цилиндра уменьшается. В связи с этим сетка получает индуцированный положительный потенциал, и ток в цепи цилиндра опять усиливается. Взаимное действие цепи цилиндра на цепь сетки и обратно создает в цепи цилиндра ток одного направления, но разной силы, — пульсирующий ток. Если параллельно самоиндукции первичной катушки присоединить конденсатор C , то в полученном таким образом замкнутом контуре будут происходить незатухающие электрические колебания, период которых будет зависеть лишь от емкости C и самоиндукции L , а амплитуда — от режима работы лампочки, от взаимного расположения первичной и вторичной катушек и от других причин¹⁾.

Измерение длин волн производится с помощью волномеров, представляющих собой второй колебательный контур, который может быть настроен в резонанс с первым контуром, или же по методу волн в проволоках, описанному выше.

В связи с требованиями современной радиотехники в настоящее время большие усилия прилагаются к тому, чтобы получить незатухающие колебания возможно малого периода. Трудность получения таких колебаний с помощью лампового генератора сводится к тому, что с уменьшением длины волны связано уменьшение размеров лампочки,

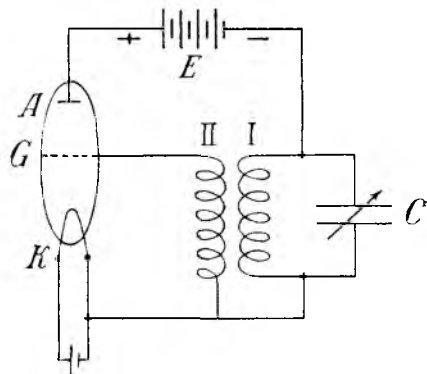


Рис. 6. Схема лампового генератора незатухающих колебаний.

¹⁾ Теорию катодных ламп и их различные применения см. в статье С. Н. Ржевкина: Успехи Физических Наук, т. IV, вып. 4—5, 1924.

что может быть допущено лишь в известных пределах. Короткие волны незатухающих колебаний в 2,4 м были получены Гольборном (Holborn). Баркгаузен и Курц (Barkhausen u. Kurz) получили очень короткие волны — до 42 см; по методу Баркгаузена и Курца Шейбе (Scheibe) получил наиболее короткие волны — в 30 см, являющиеся пока предельными.

Очень короткие электромагнитные волны этой области шкалы, длиной в 6 мм, были получены уже давно, в 1895 г., П. Н. Лебедевым; источником излучения у него был очень маленький вибратор Герца в 2,6 мм длины; волны распространялись в свободном пространстве и обнаруживались с помощью термоэлемента. Дальнейшее продвижение по шкале электромагнитных волн в сторону соседней области было сопряжено с большими затруднениями технического характера. Метод вибратора Герца, чрезвычайно удобный для получения длинных волн, сильно осложнился при попытках получить волны длиной в несколько миллиметров и короче. В течение почти трех десятков лет область электромагнитных волн Лебедева оставалась отделенной от крайних волн соседней области — тепловых волн Рубенса — промежутком в несколько октав. Так как заполнение этого пробела имело очень большое принципиальное значение, то для разрешения этой задачи весьма многие исследователи положили немало труда и сил. По поводу затруднений, с которыми неизбежно должны были встретиться экспериментаторы при получении самых коротких волн этой области, П. Н. Лебедев в своей статье пишет: „.....для получения колебаний, заключающихся между $\lambda = 3$ мм и $\lambda = 0,1$ мм нам необходимо найти новый источник“.

„Сейчас мы не имеем возможности предвидеть, как удастся разрешить это затруднение; во всяком случае тут встретятся значительные затруднения, и способ получения еще более коротких волн будет очень крупным шагом вперед в области экспериментальной физики“.

Эти слова, как будет видно из дальнейшего, оказались пророческими.

Трудности, связанные с применением метода вибратора Герца для получения коротких электромагнитных волн, заключаются в следующем. С уменьшением размеров вибратора до нескольких миллиметров нарушается простое соотношение между длиной волны и длиной вибратора $\lambda = 2l$, при чем нарушение происходит в сторону увеличения технических затруднений при работе с вибратором Герца, а именно, с уменьшением длины вибратора все более и более возрастает отношение $\frac{\lambda}{l}$; это было замечено в 1911 году В. К. Аркадьевым: вибратор в 3 мм длины, с которым он работал, излучал волны длиной от 11 до 13 мм; отсюда величина $\frac{\lambda}{l}$ равнялась 4, вместо 2.

Затем позже, в 1923 году, Никольс и Тир (Nichols a. Tear), работавшие по методу вибратора Герца с очень короткими волнами, имели вибратор в 0,4 мм длины, а длину соответствующей ему волны в 1,8 мм; отношение $\frac{\lambda}{l}$ возросло уже до 4,5. Это обстоятельство являлось одним из главных затруднений при работе с вибратором Герца; если бы даже с дальнейшим уменьшением размеров вибратора отношение $\frac{\lambda}{l}$ оставалось приблизительно таким же, т.-е. равным 4,5, то для получения волны, с λ , равной, например, 0,4 мм, необходимо было бы иметь вибратор длиной в $\frac{0,4}{4,5} = 0,089$ мм, т.-е. каждая половина вибратора даже и при таких условиях должна была бы иметь длину около 0,045 мм; разумеется, работа с таким малым вибратором по методу Герца невозможна.

Неменьшие затруднения возникают в связи со сгоранием вибратора от искры, возбуждающей колебания. Сгорание вибратора при его больших размерах не оказывает заметного влияния на длину испускаемой им волны. Но при малых размерах вибратора, вместе с постепенным укорачиванием его от сгорания, становится уже заметным постепенное уменьшение длины испускаемой им волны; иначе говоря, с маленьким вибратором трудно получить устойчивую волну постоянной длины.

Большие трудности вызываются тем, что с уменьшением размеров вибратора уменьшается энергия испускаемых волн; это обстоятельство приводит к необходимости сильно повышать чувствительность измерительных приборов.

Несмотря на то, что указанные и на многие другие, здесь не упомянутые, трудности применения метода вибратора Герца для получения самых коротких электромагнитных волн, очень многие исследователи шли именно этим тернистым путем. По этому методу были получены короткие волны Лампа (Lampa) в 4 мм, Байером (Baeyer) в 2 мм; Мёбиус (Mobius), кроме устойчивых волн в 7 мм, получил очень неустойчивые, не поддававшиеся воспроизведению, мимолетные электрические колебания, соответствующие высшим обертонам вибратора и резонатора, до 0,1 мм; о присутствии обертонов можно судить по зигзагам на интерференционных кривых, полученных для основного колебания вибратора.

При необычайном напряжении технических сил и средств Никольсу и Тире в 1923 году удалось получить по этому методу устойчивые волны до 4,2 мм и 1,8 мм, а также наметить в виде обертона слабую волну в 0,8 мм. Работа Никольса и Тира была сделана с необыкновенным изяществом и тонкостью. Свои самые короткие волны они получили с очень маленьким вибратором Герца (рис. 7), каждая половина которого имела длину и диаметр в 0,2 мм. Эти

микроскопически малые зернышки были впаяны в стеклянные трубочки *a* и *b*. Для правильной работы такого маленького вибратора им пришлось пропускать через искровой промежуток сильную струю керосина, а подводящую искру продувать струей сжатого воздуха. Очень малая энергия испускания маленького вибратора привела их к необ-

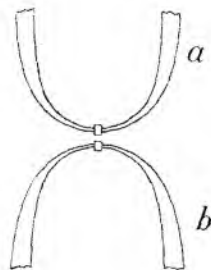


Рис. 7. Вибратор для очень коротких волн Никольса и Тира.

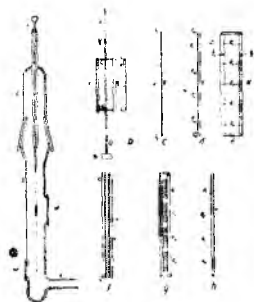


Рис. 8 Приемники или индикаторы коротких волн Никольса и Тира.

ходимости конструировать специальные очень чувствительные измерительные приборы — приемники волн. На рис. 8 изображены различные приемники, построенные по принципу резонанса; на крылышке *a* радиометра *A* имелись маленькие кусочки тонкого слоя платины или волластоновой проволоки; при резонансе падающие волны поглощались

ими, вследствие чего крылышко радиометра отклонялось. Чувствительность прибора была очень высокая: достаточно упомянуть о том, что вся система подвеса вместе с зеркальцем весила от 1 до 0,5 мг.

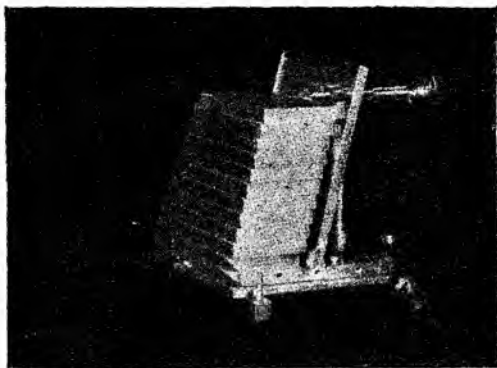


Рис. 9. Лестничная решетка.

Измерение длин волн производилось по методу интерференции с помощью зеркал Больцмана (Boltzmann). Подробности этого метода будут изложены ниже. Волны с λ , равной 3,8 и 1,8 мм, были

измерены с отражательной решеткой в виде лестницы, или лестничной решеткой, подобной той, которой при работе с электромагнитными волнами впервые пользовался Милентц в Москве в 1914 году. Лестничная решетка у Никольса и Тира состояла из 8 хорошо приготовленных, положенных одна на другую, металлических пластинок (рис. 9) с высотой ступенек равной $\frac{\lambda}{2}$ основной волны вибратора. Высота

ступенек могла меняться посредством изменения наклона пластинки А. Отраженные от решетки волны становились более монохроматическими.

Позднейшая работа Никольса и Тира была посвящена разработке метода обертонов вибратора Герца для получения самых коротких электромагнитных волн. Для этой цели они „настраивали“ вибратор и резонаторы приемников на одну и ту же длину волны, которая соответствовала одному из высших гармонических колебаний по отношению к основным колебаниям вибратора и резонатора. Так, например, волна с λ , равной 0,8 мм, была получена, как 4-й обертоном вибратора и 9-й обертоном резонатора: $\frac{\lambda_0}{5} = \frac{\lambda_r}{10} = 0,8$ мм, где λ_0 и λ_r — основные длины волн вибратора и резонатора. Таким способом они получили обертоны с длинами волн до 0,22 мм.

Применяя одновременно несколько вибраторов, состоящих из маленьких металлических шариков, М. А. Левитская исследовала излучение малых сфер, испускающих волны, соответствующие как основным колебаниям, так и колебаниям высших порядков. Расчеты показали, что длины волн для взятых ею размеров вибраторов равняются от $\lambda_0 = 2,9$ до $\lambda_3 = 0,62$ мм. Наблюдения производились с особого вида термоэлементом из теллура и висмута.

Значительно проще оказалось возможным получить волны, лежащие в этой промежуточной области шкалы электромагнитных волн, но совершенно иному методу — методу „массового излучателя“. Идея метода, принадлежащая В. К. Аркадьеву, была высказана им еще в 1914 году. Осуществить эту идею оказалось возможным только в 1922 году. Метод массового излучателя заключается в том, что для усиления энергии излучения берется не один маленький вибратор Герца, а множество их. Во избежание сгорания от искры эти вибраторы постоянно меняются. Чтобы иметь возможность совершенно свободно пользоваться вибраторами чрезвычайно малых размеров, вибраторы остаются взвешенными в жидком диэлектрике. Метод массового излучателя представляет собой нечто среднее между методом вибратора Герца и методом накаливаемого тела; он осуществляет собой переход от излучения отдельного вибратора Герца к массовому излучению молекул вещества. По этому промежуточному методу сравнительно легко удалось получить промежуточные — „ультрагерцевы“ — волны, самые короткие волны этой области шкалы.

Массовый излучатель А. А. Глаголевой - Аркадьева состоит из сосуда А (рис. 10), в котором находится смесь латунных или алюминиевых опилок и масла; эта смесь находится в постоянном движении благодаря постоянно действующей мешалке М и имеет вид кашицеобразной однородной массы. Вращающееся карболитовое колесико К захватывает из сосуда массу, которая располагается на

нем, под действием центробежной силы, кольцом наподобие жидкой шины. Волны возбуждаются искрами от индуктора, подведенными к шине в f . Большим достоинством этого источника волн является

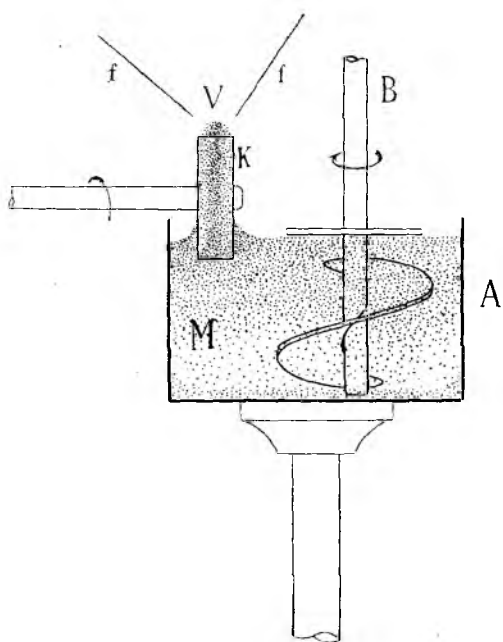


Рис. 10. Массовый излучатель Глаголевой-Аркадьевой.

то, что он может работать очень долго, целыми часами, не требуя особого ухода за собой, подобно горению электрической лампочки, испускающей тепловые и световые волны. Энергия испускания массового излучателя настолько значительна, что измерения производились приборами обычной чувствительности.

Измерение длин волн было сделано с помощью интерференционного метода с зеркалами Больцмана. В фокусе параболического зеркала P_1 (рис. 11) помещалась излучающая часть массового излучателя V . Лучи, отразившись от P_1 , шли параллельным пучком и падали на два плоских зеркала S_1 и S_2 . После отражения от них лучи падали на второе параболическое зеркало P_2 , собиравшее их в фокусе, где был помещен термоэлемент T . Соединяя термоэлемент с панцирным гальванометром, можно обнаружить энергию излучения. Если зеркала Больцмана S_1 и S_2 находятся в одной плоскости, то обе части пучка лучей, отраженных от них, приходят к термоэлементу в одной фазе. При смещении одного из зеркал, например S_1 , одна половина пучка лучей будет приходить к термоэлементу уже в другой фазе относительно второй половины пучка лучей; вследствие этого происходит интерференция лучей. Если

Рис. 11. Интерференционный метод с зеркалами Больцмана.

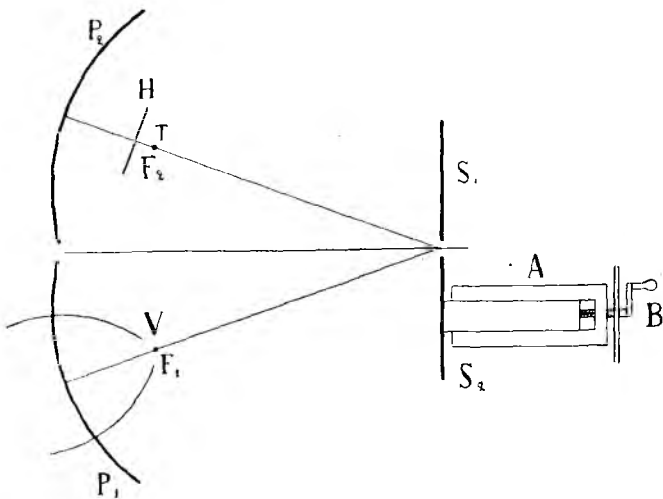


Рис. 11. Интерференционный метод с зеркалами Больцмана.

по оси абсцисс отложить смещения подвижного зеркала S_1 , а по оси ординат — соответствующие им отклонения гальванометра, то получится интерференционная кривая энергии излучения, расстояния между соседними максимумами которой будут равны половине длины волны. В качестве индикаторов были употреблены термоэлементы различных типов (рис. 12). Измерения показали, что волны, излучаемые массовым излучателем, занимают довольно широкую область, около 7 октав, от 50 до 0,1 м. Излучение массового излучателя оказалось „белым“; одной из главных причин этого явления надо считать нестрогое отсеивание зернышек опилок.

Очень существенно то обстоятельство, что короткие электромагнитные волны, испускаемые массовым излучателем, могут быть резуль-

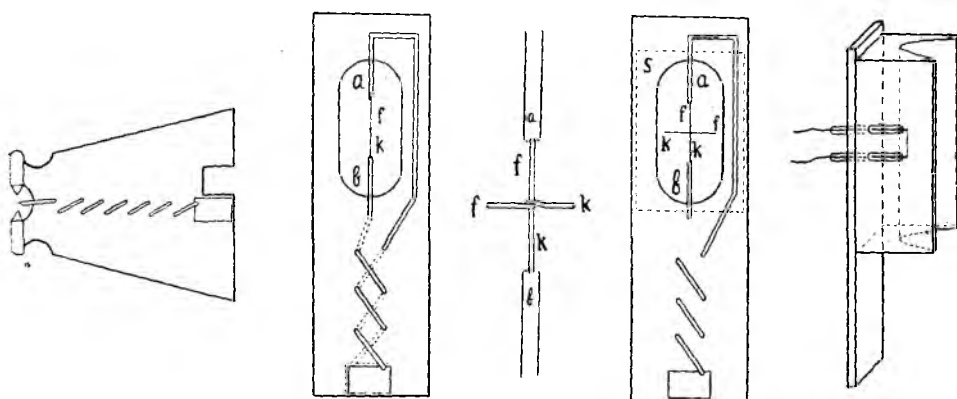


Рис. 12. Различные виды термоэлементов.

татом самостоятельных электрических колебаний в соответствующих очень малых вибраторах, а не обертонами, наложенными на основной тон вибратора или резонатора, как это было в работах Мёбиуса и у Никольса и Тира.

Для изолирования наиболее коротких волн, испускаемых массовым излучателем, был применен следующий принцип. Если на металлическую пластинку падают электромагнитные волны, то впереди нее образуются стоячие волны с узлом у поверхности пластинки. Помещая металлическую пластинку позади термоэлемента на очень близком расстоянии от него, можно ослабить действие на него длинных волн и усилить действие коротких; будет усилено действие на термоэлемент только тех волн, в пучности которых он будет находиться. Этот принцип дал возможность выделить наиболее интенсивную волну в 150 μ , затем менее интенсивные — в 300 и 180 μ и слабую волну в 82 μ .

Таким образом самые короткие волны этой области шкалы далеко зашли в соседнюю область шкалы — область инфракрасных волн, по-

лучающихся по совершенно иному способу, главным образом по методу накаливаемого тела.

Насколько трудно было приблизиться к границе инфракрасных волн со стороны электромагнитных волн Лебедева, следует из предыдущего; но еще труднее было расширить пределы инфракрасных волн со стороны тепловых волн Рубенса. Тепловые волны Рубенса — это наиболее длинные инфракрасные волны, с которыми очень много и с необыкновенным успехом работал Рубенс со своими учениками. Только благодаря огромному таланту и большим трудам этого крупнейшего ученого, область инфракрасных волн была продвинута так далеко. В целом ряде блестящих, чрезвычайно тонко выполненных работ, с помощью остроумнейших своих методов Рубенс неуклонно шел вперед, шаг за шагом приближаясь к границе соседней области.

Источниками инфракрасных волн служат:

обыкновенная вольтова дуга, дающая сильный сплошной спектр, из которого может быть выделена инфракрасная часть спектра; затем вольтова дуга между электродами, содержащими щелочные и щелочноземельные металлы; ауэрова горелка и ртутно-кварцевая лампа.

Измерения в части коротких инфракрасных волн производились с помощью спектретра с проволоочной решеткой. Индикаторами служили термоэлемент или болометр. Расположение частей прибора видно на рис. 13. S — источник волн, D_1 и D_2 — диафрагмы в виде щелей, C_1 , C_2 , C_3 и C_4 — вогнутые металлические

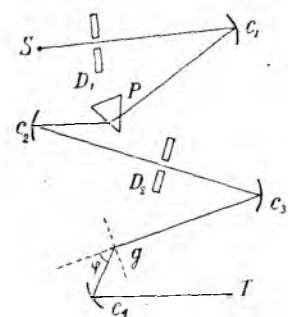


Рис. 13. Спектрометр для измерений в инфракрасном спектре.

зеркала, G — проволоочная решетка, P — призма из вещества, прозрачного для инфракрасных лучей, например из сильвина. Лучи от S проходят через щель D_1 , падают на зеркало C_1 , отражаются от него и параллельным пучком проходят через призму P , которая рассеивает лучи с разными длинами волн по различным направлениям; зеркало C_2 дает действительное изображение спектра на диафрагме D_2 , через щель которой пропускается только узкий пучок монохроматических лучей. Отраженные от зеркала C_3 монохроматические лучи параллельным пучком падают на решетку G , которая дает дифракционные спектры. Зеркало C_4 , поставленное под определенным углом, концентрирует лучи спектра определенного порядка на термоэлементе или болометре T . В этой установке линзы заменены зеркалами потому, что стекло поглощает инфракрасные лучи. Проволоочная решетка устроена следующим образом. Два очень правильно нарезанных винта P_1 и P_2 с одинаковой высотой хода скрепляются двумя металлическими пластинками L_1 и L_2 (рис. 14). На нарезки винтов наматывается тонкая проволока, которая затем припаивается к ним. В результате такого

способа изготовления получаются с двух сторон рамки две решетки, из которых одна после припаивания проволок отрезается прочь. Дифракционные решетки выходят очень правильными.

Область инфракрасных волн со стороны самых коротких волн, граничащих с видимыми красными лучами, начинается около $0,760 \mu$. С помощью описанной установки можно было сделать измерения длин волн до 20μ . Дальнейшие измерения с более длинными волнами были невозможны вследствие большой поглощательной способности вещества призмы для этих лучей. Чтобы обойти затруднение, Рубенс заменил способ спектрального разложения лучей призмой способом избирательного отражения лучей от некоторых веществ. Если на пластинку, обладающую свойством избирательного отражения, падают лучи разных длин волн, то в составе отраженных лучей возрастает в процентном отношении количество лучей с большим коэффициентом отражения. Путем многократного последовательного отражения от таких кристаллических пластинок примесь лучей с малым коэффициентом отражения можно сделать настолько малой, что лучи отраженные или „остаточные лучи“ становятся почти монохроматиче-

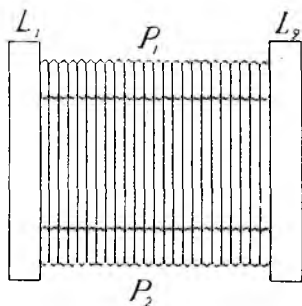


Рис. 14. Проволочная дифракционная решетка.

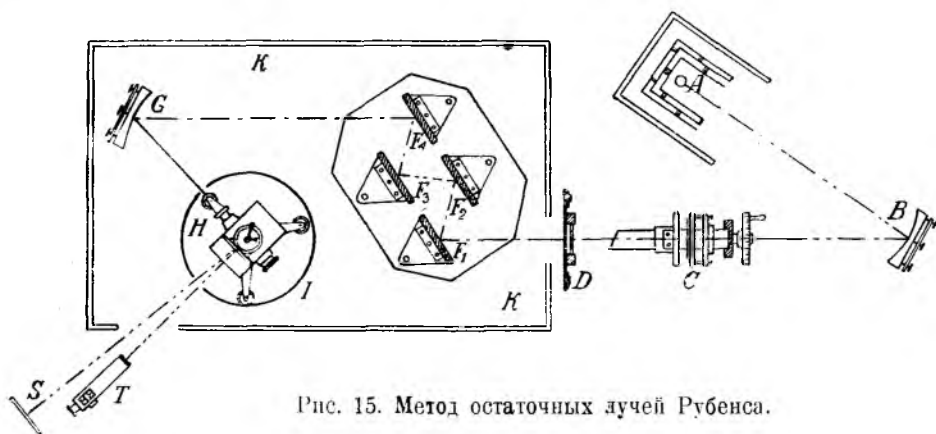


Рис. 15. Метод остаточных лучей Рубенса.

скими. По методу „остаточных лучей“ Рубенс получил очень длинные тепловые волны до 151μ . Установка, которой он пользовался, изображена на рис. 15. Источником излучения у него служила ауэрова горелка A без стекла. B — вогнутое зеркало, которое дает действительное изображение чутка горелки в воздушном слое C между двумя кварцевыми пластинками кварцевого интерферометра. Лучи поступают в камеру K , где находятся отражательные кристаллические пластинки F_1 , F_2 , F_3 и F_4 . Отраженные последовательно от этих

пластинок лучи падают на вогнутое зеркало G , которое отбрасывает изображение чутка горелки на термоэлемент I . Лучи, проходя через кварцевый интерферометр (рис. 16), состоящий из двух плоскопараллельных кварцевых пластинок — одной, G' , неподвижной и другой, G , подвижной — будут интерферировать, при чем результат интерференции будет зависеть от толщины воздушного слоя между пластинками.

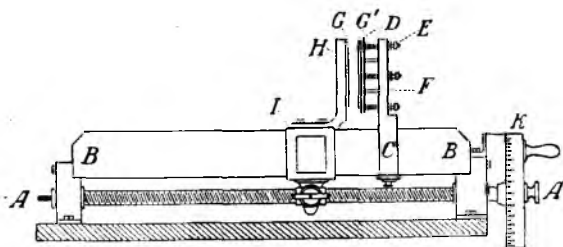


Рис. 16. Кварцевый интерферометр.

С постепенным изменением толщины воздушного слоя будет меняться, вследствие интерференции, энергия лучей, воспринимаемая термоэлементом. Откладывая по оси абсцисс смещения подвижной пластинки интерферометра, а по оси ординат — отклонения микрорадиометра, соединенного с термоэлементом, Рубенс получил интерференционные кривые, по которым определил длины волн остаточных лучей сильвина, каменной соли, бромистого и иодистого калия. Таким образом он измерил волны в 52; 63,4; 82,6 и 94,1 μ . Остаточные лучи бромистого серебра, бромистого и иодистого калия дали возможность продвинуть тепловой спектр до 151,8 μ . Дальнейшее продвижение с помощью метода остаточных лучей стало невозможным, вследствие очень малой интенсивности лучей.

Пользуясь другим свойством тел в области еще больших длин волн, Рубенс нашел

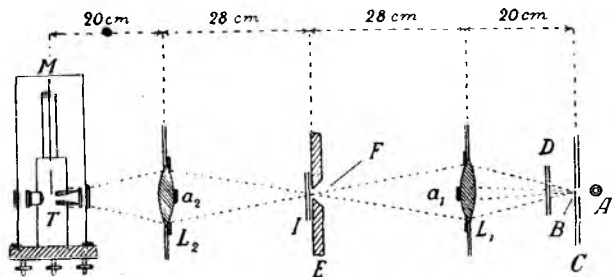


Рис. 17. Метод кварцевых линз.

новый способ изолирования их — „метод кварцевых линз“. Основанием этого метода послужило сильное увеличение коэффициента преломления кварца при переходе именно в область длинных волн инфракрасного спектра. Источником излучения в установке с кварцевыми линзами (рис. 17), с которой работал Рубенс совместно с Байером, была взята ртутно-кварцевая лампа A . Кварцевая линза L_1 давала возможность собирать длинные тепловые волны отдельно от коротких, так как фокус коротких волн лежал значительно дальше фокуса длинных волн. Поэтому через отверстие диафрагмы, находящейся перед фокусом длинных тепловых волн, свободно проходил лишь сходящийся пучок лучей с длинными волнами, короткие же волны ею

задерживались. Чтобы задержать короткие тепловые волны, идущие по главной оси линзы, центральная часть ее была закрыта маленьким экраном a_1 . Прошедшие через отверстие диафрагмы длинные тепловые волны попадали в кварцевый интерферометр J , затем — на вторую кварцевую линзу L_2 , которая собирала их на термоэлементе микро-радиометра. Измерение длин волн производилось с помощью интерференционных кривых, как и в предыдущем методе. Длины волн оказались очень большими — равными 343 и 218 μ .

Эти данные относятся к 1910 году. В течение многих лет волны в 343 μ оставались предельными. Повидимому, Рубенс дошел до предела возможности получения еще более длинных тепловых волн. Попытки других исследователей в этом направлении не дали больших результатов. В 1924 году Никольс и Тир повторили опыт Рубенса и Байера с ртутно-кварцевой лампой, применив в качестве индикатора не термоэлемент, которым пользовались Рубенс и Байер, а свои приемники для обнаружения коротких герцевых волн, описанные выше. Эти опыты Никольса и Тира подтвердили существование длинных волн Рубенса и Байера и обнаружили еще волну в 420 μ , близкую к крайней волне Рубенса в 343 μ . В опытах Герды Ласки (G. Lasky), занимавшейся изучением вопросов, связанных с излучением ртутнокварцевой лампы, получалась волна в 400 μ .

На рис. 18 сопоставлены интерференционные кривые, полученные различными исследователями в переходной области шкалы от волн Герца к инфракрасным лучам. A — одна из кривых Мёбиуса, полученных им с вибратором Герца; короткие волны обертонов, наложенные на основную волну в виде зазубрин, были у него явлением непостоянным, невоспроизводимым. B — кривая Никольса и Тира, полученная также с вибратором Герца, обнаруживает самые короткие, полученные ими, основные волны в 1,8 мм. Кривая C — также Никольса и Тира, построенная с вибратором Герца по методу обертонов вибратора и резонатора; она показывает самую короткую, достигнутую этим методом, волну в 0,22 мм. Кривая D — Глаголевой-Аркадьевой, полученная с массовым излучателем; самые короткие, достигнутые с ним волны, в 150, 300 и 180 μ , являются самыми короткими волнами со стороны герцевых волн. Кривая E — Рубенса и Байера, полученная с ртутнокварцевой лампой; она обнаруживает самые длинные тепловые волны в 218 и 343 μ .

В этой промежуточной области шкалы волн в самое последнее время, в 1926 году, сделала новые опыты над получением коротких электромагнитных волн М. А. Левитская, которая продолжила свою работу с излучением системы малых вибраторов. Опыты производились с двумя системами. Первая система состояла из маленьких

кусочков молибденовой проволочки диаметром в 0,2 мм и длиной в 0,1—0,4 мм; вторая система отличалась от первой тем, что длины маленьких вибраторов были взяты одинаковыми и равными 0,1 мм. Вибраторы цепочками или рядами, параллельными друг другу, были приклеены канадским

бальзамом к стеклянной пластинке на возможно близком расстоянии друг от друга. Каждая из двух систем занимала площадь в 1 см², имея 10 рядов по 1 см длины. Каждый ряд системы питался от отдельной катушки трансформатора, который имел для этой цели соответствующее число вторичных катушек. Первичная катушка трансформатора питалась от вторичной катушки обыкновенного индуктора, через последовательно включенные искру и конденсатор. Система вибраторов помещалась в фокусе параболического зеркала с фокусным расстоянием в 2,5 см.

Измерение длин волн было произведено сначала с помощью двух плоских дифракционных решеток и линзы из каменной соли. Так как последняя обладает поглощением в области длин волн от 100 до 20 м, то для измерений в области наиболее корот-

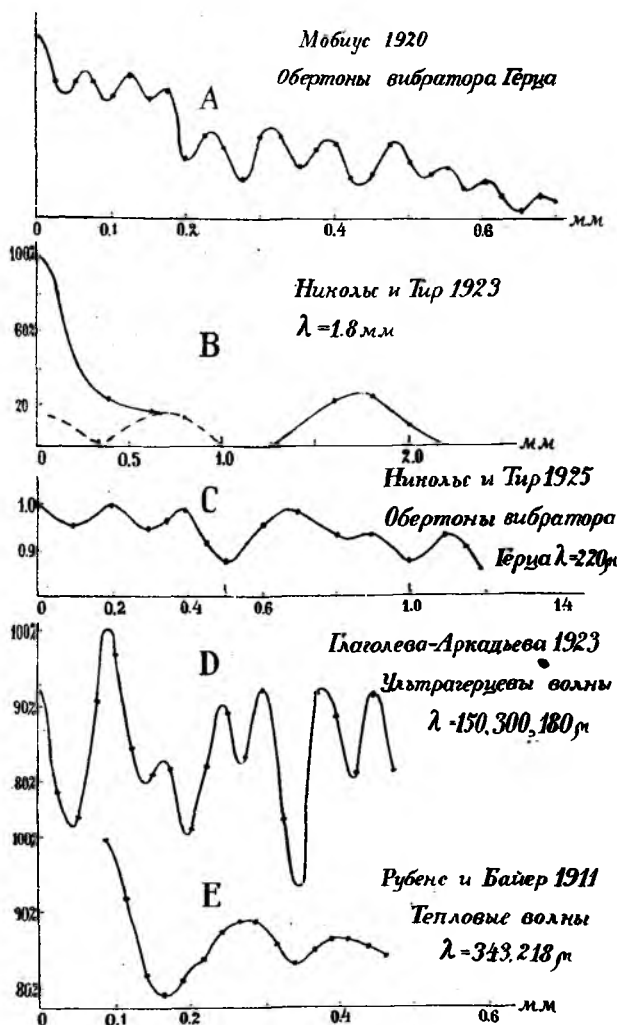


Рис. 18. Интерференционные кривые, полученные с различными излучателями в промежуточной области шкалы волн.

ких волн были применены две вогнутые отражательные решетки. В последнем случае обе системы состояли каждая из одного ряда маленьких вибраторов, общей длиной в 3—5 см. Индикаторами во всех случаях служили термоэлементы разного вида. Измерения с плоскими решетками обнаружили волны длиной в 138—450 м и в 138—475 м. При помощи вогнутых решеток были измерены волны, длиной от 30 до 508 м и от

34 до 470 μ , и в одном случае до 915 μ . М. А. Левитская полагает, что полученные по этому способу короткие волны относятся отчасти к тепловому излучению искровых промежутков, и отчасти — к излучению малых вибраторов; какие из этих волн относятся к излучению вибраторов, пока еще не разрешено. Энергия электрических колебаний описанных вибраторов, как говорит М. А. Левитская необыкновенно мала, и потому она находит необходимым для исследования законов и свойств излучения изыскание особенно интенсивного источника этих коротких волн.

Непосредственно к самым коротким инфракрасным лучам примыкает видимый спектр, занимающий очень маленькую область, менее одной октавы, от 0,760 до 0,400 μ . За пределами крайних фиолетовых лучей видимого спектра лежат невидимые ультрафиолетовые лучи.

Источниками излучения ультрафиолетовых волн служат: вольтова дуга между железными электродами, ртутно- и амальгамокварцевая лампа, искра между электродами из разных металлов — цинка, алюминия, платины и др., спектр которых содержит наиболее короткие волны, и другие специальные источники.

Измерения длин волн производились с помощью спектрографа или вакуум-спектрографа. Ультрафиолетовый спектр начинается, как упоминалось выше, около 4000 $\text{\AA}$. До 3000 $\text{\AA}$ ультрафиолетовые лучи были сфотографированы с помощью спектрографа со стеклянными линзами и призмой. С оптической системой из кварца граница ультрафиолетового спектра была продвинута далее, до 1850 $\text{\AA}$. Чтобы измерить еще более короткие волны, для которых были непрозрачны как стекло, так и кварц, Шуман (Schumann) воспользовался призмой и линзами из флуорита; кроме того, для уменьшения поглощения коротких лучей воздухом по пути их прохождения в приборе, свой спектрограф он поместил в вакуум. Спектр он фотографировал на особых чувствительных, им самим приготовленных, пластинках. С такими средствами ему удалось продвинуть ультрафиолетовый спектр до 1230 $\text{\AA}$. Дальнейшему расширению спектра в сторону еще более коротких волн был поставлен предел сильным поглощением их веществом, необходимым для оптической системы. Большой шаг вперед по этому пути сделал Лаймэн (Lyman), который придумал способ освободиться от поглощающей лучи оптической системы, заменив ее вогнутой отражательной решеткой Роулэнда (Rowland).

Диффракционные решетки из проволок, употребляющиеся для измерений в инфракрасном спектре, для измерений с ультрафиолетовыми лучами непригодны, так как для коротких волн необходимы решетки с малым периодом. Между тем, в изготовлении проволочной решетки предел технической возможности наступает очень скоро: приготовление правильно нарезанных винтов с очень малым ходом и

правильно тянутых проволочек очень малого диаметра представляет большие трудности. Неприменимыми оказались также и обычные диффракционные решетки, употребляющиеся для измерений в видимом спектре и состоящие из стеклянных пластинок с нанесенными на них алмазом частыми, равноотстоящими, параллельными друг другу бороздками, так как стекло непрозрачно для большей части ультрафиолетового спектра. Поэтому для исследования коротких ультрафиолетовых лучей очень удобными оказались отражательные диффракционные решетки, у которых бороздки начерчены алмазом на металлическом зеркале. Диффракция наблюдается в отраженных лучах. Если бороздки нарезаны на вогнутом зеркале, то такая решетка не требует дополнительных собирающих зеркал.

Вакуум-спектрограф Лаймэна, построенный им для исследования спектров газов, состоял из двух частей: спектрографа и вакуумной камеры, в которую он был заключен¹⁾. Сам спектрограф состоял из латунной трубки диаметром около 10 см и длиной около 1 м, на одном конце которой помещалась вогнутая отражательная решетка, на другом — щель, и „шумановская“ чувствительная пластинка. Решетка имела 15 028 штрихов на 1 дюйм. Источником излучения у него служила разрядная трубка кварцевая или с флуоритовым окошечком для выхода лучей в вакуум-спектрограф; разрежение внутри трубок было от 1 до 3 мм ртутного столба. Таким способом Лаймэн постепенно продвинул вперед границу крайних ультрафиолетовых лучей сначала до 900, затем до 600 и 510 Å.

В части наиболее коротких волн ультрафиолетового спектра очень много и успешно работал Милликэн (R. A. Millikan) со своими сотрудниками. Воспользовавшись принципом устройства вакуум-спектрографа Лаймэна, Милликэн и Соьер (Sawyer) построили вакуум-спектрограф для исследования искровых спектров металлов. Для еще большего ослабления поглощения лучей средой он устранил из прибора флуоритовое окошко, поместив источник волн — искру внутрь вакуум-спектрографа. Вакуум в приборе достигал менее чем 10^{-4} мм ртутного столба. Источником излучения служила искра в том же вакууме между алюминиевыми электродами, происходившая при разряде большой емкости, заряженной до высокого потенциала — в несколько сотен тысяч вольт. При таких условиях Милликэну удалось с большим трудом продвинуть ультрафиолетовый спектр до 202 и даже до 136 Å. Эти волны Милликэна являются самыми короткими, измеренными до сих пор.

В самое последнее время измерения в области крайних ультрафиолетовых волн были сделаны Вейнбергом (M. Weinberg), который

¹⁾ Подробности экспериментальной методики исследования вакуум-ультрафиолетовой области см. в статье Шпонер. *Ред.*

исследовал искровые спектры галлия и индия. В спектре галлия среди множества других линий спектра, в крайней части его, он на одном снимке обнаружил слабую линию в $126,3 \text{ \AA}$. Источником излучения у него служила искра между электродами, из которых один был из алюминия, а второй состоял из маленького кварцевого сосуда, содержавшего указанные металлы. Измерения производились с помощью вакуум-спектрографа с вогнутой решеткой. Область ультрафиолетового спектра, представленная Милликэном в виде графика (рис. 19), в настоящее время занимает более пяти октав. Предельные ультрафиолетовые лучи накладываются на самые длинные волны соседней области шкалы — области лучей Рентгена.

Лучи Рентгена возбуждаются по методу бомбардировки тел быстро летящими электронами. Источником излучения этого вида служат трубки Рентгена очень разнообразной конструкции, соответственно различным целям их применения. Необходимыми частями всякой трубки Рентгена являются катод, от которого под влиянием высокого напряжения несется

поток электронов, и антикатод, на котором возникают рентгеновы лучи. Трубки разделяются на два основных типа: во-первых, ионные трубки,

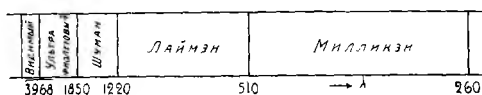


Рис. 19. Ультрафиолетовый спектр.

содержащие разреженный газ и имеющие холодный катод; во-вторых, электронные трубки, имеющие высокий вакуум и накаливаемый катод. Для получения коротких рентгеновых волн или „жестких“ рентгеновых лучей, короче $0,2 \text{ \AA}$, употребляются трубки электронные, например, трубки Кулиджа и Лилленфельда; для работ с волнами средней длины, до $1,2 \text{ \AA}$, обычно берутся трубки ионные; для получения „мягких“ лучей Рентгена, обладающих длинами волн, большими $1,2 \text{ \AA}$, конструируются особые трубки с окошечками из материала, более прозрачного, чем стекло самой трубки, которое сильно поглощает мягкие рентгеновы лучи. Чтобы возбудить рентгеновы волны, на трубку накладывают высокое напряжение от индуктора или трансформатора, измеряемое обычно десятками и сотнями киловольт.

После открытия в 1895 году Рентгеном его лучей нескоро удалось исследователям установить природу их. Несмотря на необычайные усилия опытейших экспериментаторов подтвердить гипотезу о волновом характере этих лучей при помощи обычных оптических методов — щели и клина, — все попытки оказывались неудачными и в лучшем случае приводили лишь к приблизительной оценке порядка величины длин волн лучей Рентгена. Эта величина выходила равной приблизительно 10^{-8} см . Теоретическая интерпретация опытных данных Зоммерфельдом дала результаты, согласные с той же

оценкой. Только спустя семнадцать лет после великого открытия Рентгена, в 1912 году, удалось осуществить интерференцию лучей Рентгена, благодаря блестящей идее Лауэ применить в качестве дифракционной решетки естественную, очень тонкую решетку, которую образуют правильно расположенные атомы вещества в кристаллах. Расстояние между соседними атомами в кристаллических решетках приблизительно одного порядка с длинами волн рентгеновых лучей. Конечно, дифракционные явления в кристаллической пространственной решетке должны быть гораздо сложнее, чем в обыкновенной дифракционной решетке; эти соображения были учтены Лауэ, который дал также и теоретическую обработку своего метода.

Опыт, поставленный по идее Лауэ, был осуществлен Фридрихом и Книппингом (Friedrich und Knipping). Узкий пучок рентгеновых лучей падал на кристалл сернистого цинка, позади которого находилась фотографическая пластинка. После проявления на пластинке были обнаружены темные закономерно расположенные пятна, свидетельствовавшие об интерференции лучей Рентгена. По расположению пятен на пластинке можно было точно определить длины волн. Из первых опытов Лауэ нашел длины волн равными 0,127; 0,190; 0,224; 0,355; 0,483 Å.

Открытие Лауэ создало целую эпоху в изучении вопросов о строении вещества и атома. Своими опытами Лауэ открыл широкий путь целому ряду важнейших работ, в результате которых создалась большая область физики — рентгеноспектроскопия.

Рентгеновское излучение распадается на два вида: лучи „торможения“ и лучи „характеристические“. Лучи торможения суть не что иное как ряд отдельных электромагнитных импульсов, возникающих вследствие потери быстро движущимися электронами их скорости при встрече с антикатодом. Этот вид излучения соответствует белому излучению в оптике. Отсюда следует, что лучи торможения могут быть разложены в непрерывный рентгеновский спектр. Кривые распределения интенсивности в непрерывном рентгеновском спектре имеют максимум, резко ограниченный со стороны коротких волн. Этот максимум при повышении напряжения (рис. 20) смещается в сторону коротких волн. Дюэном и Хентом (Duane a. Hunt) была найдена зависимость между самой короткой волной в спектре и соответствующим напряжением V :

$$\lambda_{min} V = \text{const},$$

полученным из формулы $eV = h\nu$, где e — заряд электрона, h — постоянная Планка, ν — частота колебаний. Если λ выразить в Å, а V — в киловольтах, то

$$\lambda \cdot V = 12,3.$$

Следовательно, в этом виде излучения λ не зависит от вещества анти-

катода, т.е. от рода атомов, а зависит лишь от напряжения V , или от скорости катодных лучей.

Формула, связывающая минимальную длину волны и напряжение, оказалась верной в очень больших пределах — от нескольких вольт до 150 киловольт. Пользуясь этой формулой, можно определять наименьшую длину волны, соответствующую данному напряжению. Предел со стороны самых коротких волн ограничен техническими возможностями при изготовлении аппаратов высокого напряжения и трубок Рентгена. В рентгеновских установках новейших типов в настоящее время достигнуты напряжения около 250 киловольт, что соответствует длине волны в $0,049 \text{ \AA}$.

Второй вид рентгеновского излучения — характеристические лучи, которые зависят от вещества антикатада. Они соответствуют монохроматическим лучам в оптике. Методика изучения рентгеновских спектров благодаря трудам очень многих исследователей — Лауе, Брэггов (W. H. Bragg and W. L. Bragg), Мозелея (Moseley), Баркла (Barkla), де-Броля (de-Broglie), Зигбана (Siegbahn) с учениками и многих других исследователей в настоящее время разработана с такой тонкостью и полнотой, что представляет собой обширнейшую главу физики, главнейшие положения из которой послужили темой специальных сочинений, вышедших в последнее время.

Рентгеновские спектры элементов от натрия до урана заполняют область шкалы волн от $17,3$ до $0,1 \text{ \AA}$. За указанным пределом наиболее длинных волн лежат характеристические частоты легких атомов; исследования в этой области затруднены тем, что мягкие лучи Рентгена сильно поглощаются средами. Самые длинные волны рентгеновых лучей в $493 \text{ \AA}$ получил Гольвек (Holwesk). Источником излучения у него служила электронная трубка с особой формы антикатодом; лучи обнаруживались с помощью ионизационной камеры, имевшей давление в 1 мм ртутного столба и отделенной от трубки тонким листком целлулоида. Длины волн вычислялись по приведенной выше формуле $eV = h\nu$. В настоящее время эта промежуточная область — лучей Рентгена и ультрафиолетовых — является предметом больших

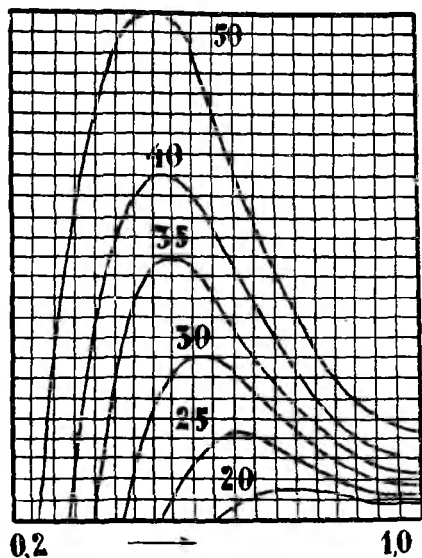


Рис. 20. Кривые распределения интенсивности при различных напряжениях — от 20 до 50 киловольт.

работ, имеющих целью установить связь между спектральными сериями лучей обоего вида.

Таким образом область рентгеновых лучей, простирающаяся более, чем на 13 октав, с одной стороны глубоко внедряется в смежную с ней область ультрафиолетовых лучей, а с другой стороны — накладывается на следующую область шкалы волн — область γ -лучей.

Источником γ -лучей, как всем хорошо известно, являются радиоактивные вещества, испускающие на ряду с γ -лучами еще два рода лучей, α - и β -лучи. Так же хорошо известно, что лучи α и β несут на себе заряды, α — положительный заряд и β — отрицательный, лучи же γ не несут на себе никакого заряда и по своим свойствам напоминают самые жесткие лучи Рентгена, отличаясь от них только значительно большей проникающей способностью. Последнее обстоятельство указывает на то, что γ -лучи имеют меньшие длины волн, чем лучи Рентгена.

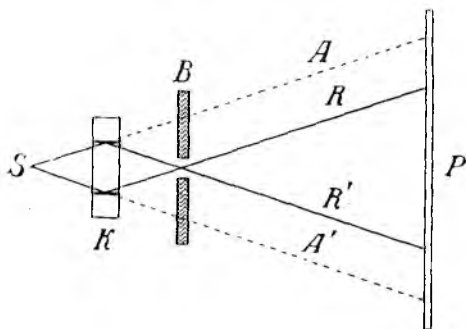


Рис. 21. Метод Резерфорда и Андраде.

Определение длин волн γ -лучей было сделано Резерфордом и Андраде (Rutherford a. Andrade). Они для этой цели применили один из спектрометрических методов измерения длин волн рентгеновых лучей, несколько видоизмененный метод кристаллической решетки. Принцип метода Резерфорда и Андраде состоит в следующем (рис. 21).

В S находится точечный или линейный источник γ -лучей, состоящий из тонкой проволоочки, активированной RaC и RaB (рис. 23). γ -лучи падают на кристалл K ; лучи A и A' , прошедшие через кристалл, задерживаются диафрагмой B ; лучи же R и R' , отраженные от внутренних плоскостей кристалла, падают на пластинку P и дают на ней темные линии интерференции. По этому методу Резерфорд и Андраде измерили волны от 0,428 до 0,072 $\text{\AA}$. Для измерения длин волн более коротких, для которых кристаллическая решетка оказалась уже грубой, пришлось отыскать другой метод, основанием которого послужила зависимость, существующая между β - и γ -лучами. Если γ -лучи падают на какое-нибудь вещество, то из последнего начинают выбрасываться электроны, т.-е. тело начинает испускать β -лучи. Энергия γ -луча и β -луча при этом бывают связаны соотношением, которым можно воспользоваться для определения длины волны падающего γ -луча:

— Энергия возбужденного β -луча = энергии возбуждающего γ -луча минус энергия, затраченная на срывание электрона с одной из орбит.

Последняя величина зависит от того, с какой орбиты и из атома какого вещества вырван электрон, т.-е. является характерной для каждого элемента. Она может быть найдена из рентгеноспектрометрических измерений, по границе полос поглощения. Энергия возбужденных β -лучей может быть измерена по их поведению в магнитном поле, под действием которого β -лучи искривляют свой прямолинейный путь: сначала по радиусу кривизны вычисляется скорость β -луча, а затем и его энергия. Из формулы Эйнштейна, связывающей величину энергии γ -луча с длиной его волны, нетрудно вычислить длину волны падающего γ -луча:

$$E_{\gamma} = h\nu_{\gamma} = \frac{hc}{\lambda_{\gamma}},$$

где h — постоянная Планка, c — скорость света, ν_{γ} и λ_{γ} — частота и длина волны γ -луча.

Так как γ -лучи и лучи Рентгена обладают очень малыми длинами волн, то ангстрем оказался для них очень крупной единицей. Поэтому была введена еще новая единица — X; $1 \text{ X} = 10^{-11} \text{ см}$, или $1 \text{ X} = 10^{-3} \text{ \AA}$.

Де-Брольи и Кабрера (de-Broglie et Cabreia) измерили волны γ -лучей в 171; 59,7; 53,0; 37,0; и 29,7 X. Источником γ -лучей у них был взят мезоторий; β -лучи возбуждались при прохождении γ -лучей через пластинки серебра, олова, бария, золота и урана. С бромистым радием в качестве источника γ -лучей и пластинками серебра, тантала, платины, золота, свинца и урана в качестве источника возбужденных β -лучей, они получили более короткие волны γ -лучей: в 51,9; 42,6; 35,6; 30,2 20,6 X. Наиболее короткие волны γ -лучей получил Тибо (Jean Thiebaud) в 1924 году. Источником γ -лучей у него был RaC. β -лучи возбуждались в пластинках урана, платины, свинца, вольфрама, сурьмы, серебра, селена и др. Он получил спектр RaC состоящим из $\lambda = 20,5; 11,0; 10,0; 7,04 \text{ X}$. Последняя длина волны является пока самой короткой в области γ -лучей.

В самое последнее время появилось сообщение Милликэна о найденных им „проникающих лучах“ космического происхождения, лежащих за областью γ -лучей. Мысль о существовании очень проникающих лучей была впервые высказана Резерфордом еще в 1903 году. Он заметил, что заряд электроскопа держится дольше, если электроскоп заключен в толстостенный металлический ящик. Опыты, поставленные вначале Гоккелем (Goskel), затем Гессом и Кольгёрстером (Hess u. Kohlhörster) и другими исследователями, подтвердили факт существования сильно проникающих лучей. Для окончательного выяснения вопроса об этих неизвестных лучах Милликэн в 1923 году поставил целый ряд грандиозных опытов, произведенных им не в стенах его научной лаборатории, но на одной из самых высоких гор

Соединенных Штатов Америки. На основании полученных им результатов он пришел к заключению, что лучи космического происхождения действительно существуют; они напоминают собою γ -лучи, отличаясь от них большей проникающей способностью; они не однородны, спектр их заключается между 0,67 и 0,4 X.

Таким образом современная шкала электромагнитных волн занимает очень широкий интервал, простираясь на 76 октав. Исследователи располагают волнами от самых длинных, в два миллиона километров (50 земных меридианов!), с числом колебаний менее одного в секунду, до самых коротких — в 0,4 X или в $4 \cdot 10^{-12}$ см, с числом колебаний в десять тысяч триллионов или 10^{-22} в одну секунду.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Лебедев, П. Н. Шкала электромагнитных волн в эфире. Физ. Обзор. 2. 1901. Собрание сочинений. стр. 303. Москва, 1913.
2. Die Kultur der Gegenwart, B. 1, Leipzig u. Berlin. 1925.
3. Ergebnisse d. exakten Naturwissenschaften, B. III, Berlin. 1924.
4. Martienssen. Langsame oscillatorische Entladung eines Kondensators von 1000 Mikrofara. Ber. d. D. Phys. Ges. 12, 2, 1910.
5. Hertz, H. Über sehr schnelle elektrische Schwingungen, Wied. Ann. 31. 421, 1887.
6. Аркадьев, В. К. Поглощение электрических волн в проволоках. Журн. Р. Ф.-Х. О. 44, 165, 1912; Ann. d. Phys. 58, 105, 1919.
7. Tesla, Nikolaus. Elektrotechnische ZS, Heft 25, 327, 1891.
8. Alexanderson, E. F. W. Wechselstrommaschine für die Frequenz. 100.000 E. T. Z. 30, 1003, 1909.
9. Holborn, F. Über Versuche mit Kurzen ungedämpften elektrischen Wellen ZS. f. Phys. 6, 328, 1921.
10. Barkhausen u. Kurz. Die kürzesten mit Vakuumröhren herstellbaren Wellen. Phys. ZS. 21, 1, 1920.
11. Scheibe, A. Untersuchungen über die Erzeugung sehr kleiner Wellen mit Glühkathodenröhren nach Barkhausen und Kurz. Ann. d. Phys. 73, 54, 1924.
12. Лебедев, П. Н. О двойном преломлении лучей электрической силы Журнал Р. Ф.-Х. О. 27, 213, 1895; Wied. Ann. 56, 1, 1895.
13. Möbius, W. Über die Dispersion von Wasser und Äthylalkohol zwischen 7 und 35 mm Wellenlänge und Vorversuche zum Verwendung noch kürzerer elektrischen Wellen. Ann. d. Phys. 62, 293, 1920.
14. Nichols, E. F. and Tear, J. D. Short electric Waves. Phys. Rev. (2). 21. 587, 1923; Astroph. Journ. 61, 17, 1925.
15. Tear, J. D. The optical constants of certain liquids for short electric Waves Phys. Rev. (2) 21, 611, 1923.
16. Аркадьев, В. К. Über die Herstellung von schwachgedämpften kurzen Hertzischen Wellen. Versuche von B. Milentz. Phys. Zs. 23, 35, 1922.
17. Левитская М. А. Ein Versuch von kurzen elektrischen zu den langen Wärmewellen überzugehen. Vorläufige Mitteilung. Phys. Zs. 25, 107, 1924, Elektrische Wellen im Gebiete des äusseren Ultrarot. Phys. ZS. 27, 177, 1926.

18. Глаголева-Аркадьева, А. А. Новый источник коротких электромагнитных волн ультрагерцевой частоты. Труды Г. Э. Э. И. Вып. 2, 1924; *Nature*. 113, 640, 1924; *Zs. f. Phys.* 24, 153, 1924.
19. Rubens, H. und Hollnagel, H. Messungen in langwelligen Spektrum. Sitzungsber. d. Königl. Preuss. Ak. d. Wiss. S. 26, 1910; Rubens u. Baeyer. Über die Energieverteilung der von der Quarzquecksilberlampe ausgesandten langwelligen Strahlung. Sitzungsber. d. Königl. Preuss. Ak. d. Wiss. S. 666, 1911.
20. Lasky, G. Die langwellige Strahlung der Quarzquecksilberlampe bei verschiedener Belastung. *Zs. f. Phys.* 10, 353, 1922.
21. Schumann, V. *Nature* 69, 262, January 14, 1904.
22. Lyman, Th. The Spectrum of Hydrogen in the region of extremely short wave-length. *Astroph. Journ.* 23, 181, 1906; The extension of the Spectrum beyond the Schumann region. *Astroph. Journ.* 43, 89, 1916; The Spectrum of Helium in the extreme Ultra-Violet. *Phys. Rev.* 17, 34, 1921; The Vacuum Grating spectrograph. *Journ. of the Opt. Soc. Amer.* 7, 495, 1923.
23. Richardson und Bazzoni. The limiting Frequency in the Spectra of Helium, Hydrogen and Mercury in the extreme Ultra-Violet. *Phil. Mag.* 34, 285, 1917.
24. Millican, R. A. The extention of the Ultra-Violet Spectrum. *Astroph. Journ.* 52, 47, 1920; and Sawyer R. A. Extreme Ultra-Violet Spectra of Hot Spares in High Vacua. *Phys. Rev.* (2). 12, 167, 1918; and Bowen, J. S. Extreme Ultra-Violet Spectra, *Phys. Rev.* (2), 23, 1, 1924.
25. Weinberg, M. Spare Spectra of Indium and Gallium in the Extreme Ultra-Violet Region. *Proc. of. Roy. Soc. A*, 107, 138, 1925.
26. Röntgen, W. C. Über eine neue Art von Strahlen. Sitzungsber. d. Würzburg. Phys.-Med. Gesellsch. 1895.
27. Laue, M. Eine quantitative Prüfung der Theorie für die Interferenz-Erscheinungen bei Röntgenstrahlen. Friedrich W., Knipping P. und Laue M. Interferenz-Erscheinungen bei Röntgenstrahlen. *Münch. Ber. S.* 303 u. 363, 1912; *Ann. d. Phys.* 41, 971 u. 989, 1913.
28. Bragg, W. H. and Bragg, W. L. Рентгеновские лучи и строение кристаллов. Перев. проф. Г. В. Вольфа. Москва. 1916.
29. Siegbahn, M. Spektroskopie der Röntgenstrahlen. Berlin, 1925, u. Thoracius. Eine Erweiterung der röntgenspektroskopischen Gebietes. *Phys. Ber. Heft.* 10, 730, 1925.
30. Holweck, E. Recherches expérimentales sur les rayons α de grande longueur d'onde. *Ann. de Phys.* 17, 5, 1922.
31. Rutherford and Andrade. Spectrum of Penetrating γ - Rays from Radium B and Radium C. *Phil. Mag.* 28, 263, 1914.
32. De-Broglie et Cabrera. Etude des rayons γ au moyen de leur effect photoelectrique. *Journ. de Phys. et le Radium.* (4), 6, 224 S., № 5.
33. Thibaud, J. Les rayon γ de très grand quantum et l'origine photoelectrique du spectre naturel du radium. *C. R.* 179, 165, 1924.
34. Millican, R. A. High Frequency Rays of Cosmic Origin. *Nature* 116, 823, 1925. December, 5.

