

ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ ВАКУУМ-СПЕКТРОСКОПИИ ¹⁾.

Герта Шпонер.

ВВЕДЕНИЕ.

Во всех областях естествознания в настоящее время пытаются отыскать элементарные процессы и разобраться в них. Физика учит нас, что спектральные линии являются отображением процессов, которые разыгрываются в отдельных атомах или молекулах. Поэтому, спектроскопия со всеми ее многообразными применениями в настоящее время является важнейшим вспомогательным орудием при исследовании процессов в мельчайших частицах материи. Область длин волн, в которой располагаются спектральные линии, обширна,

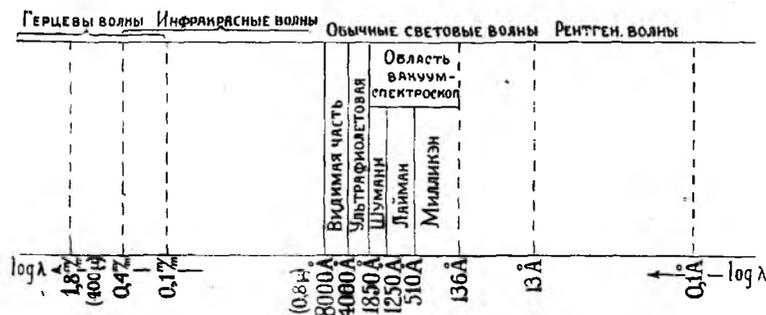


Рис. 1.

но лишь ничтожная часть этой области воспринимается нашим глазом, как свет, в остальной части мы прибегаем к оптическим, электрическим и термическим методам, которые совершенно не зависят от особенностей нашего глаза. Прилагаемый чертеж дает обзор различных областей спектра.

Весь спектр охватывает все возможные собственные частоты различных конфигураций частиц материи. Он распадается на четыре главные части: область герцевых волн, инфракрасных волн, обычных световых волн и рентгеновских волн. Это разделение можно производить по двум различным принципам: либо по методам, применяемым в различных областях длин волн, либо по способу происхождения

¹⁾ Naturwissenschaften, 14, 356, 1926.

спектральных линий, неодинаковому в различных областях. К счастью, оба принципа дают почти совпадающие результаты. Участки, в которых перекрещиваются две области, заслуживают особого внимания.

Герцевы волны, наиболее короткие из которых получены Глаголевой-Аркадьевой и промерены до настоящего времени до 0,1 мм, возникают при колебаниях микроскопических осцилляторов. Инфракрасная часть спектра возникает вследствие колебаний атомов и групп атомов. Сюда относятся собственные колебания кристаллов, обусловленные колебаниями отдельных атомов, ионов, образующих решетку, связанных решеток; сюда же относятся колебания и вращение молекул многоатомных газов и жидкостей. Из чертежа следует, что обе области — герцевых и инфракрасных волн — перекрываются. Волны в 0,1 мм являются наиболее короткими электромагнитными волнами, которые до сих пор промерены, а Рубенс мог проследить область длин волн кварцевой ртутной лампы до $400 \mu = 0,4 \text{ мм}$. Здесь мы впервые имеем дело со случаем, когда одинаковые частоты могут возникнуть различными способами. Колебания связанных решеток в кристалле — решетки анионов относительно решетки катионов — лежат в области 30 — 150 μ (0,03 — 15 мм); колебания отдельных ионов в области 2 — 40 μ , ротационные полосы молекулы приблизительно около 100 μ , ротационно-колебательные спектры — в области нескольких μ . Границу со стороны коротких волн мы можем установить таким образом, что те спектральные линии, которые хотя и лежат в области инфракрасных волн, но возникают при переходах между возбужденными состояниями атома, мы не будем причислять к области инфракрасных волн. Таким образом мы вновь встречаемся с перекрыванием областей инфракрасных и обычных световых волн. Равным образом скрещиваются и методы, применяемые в обеих областях. В области инфракрасных волн длинные волны исследуются методом остаточных лучей и кварцевых линз, более короткие — призмами и решетками; интенсивность определяется термическими методами.

Мы переходим теперь в область обычных световых волн. Я разделила ее на четыре большие части: инфракрасную, видимую, ультрафиолетовую и область вакуум-спектроскопии. Во всех этих участках спектральные линии, или полосы возникают при переходах электронов между различными состояниями атома или молекулы. Состояния могут быть нормальными или возбужденными, т.е. электрон может находиться на орбите покоя или на одной из внешних орбит. В случае молекулы, переходы электрона могут быть связаны с колебаниями ядер молекулы или вращениями всей молекулы. Инфракрасная часть обычных световых волн на чертеже особо не отмечена. Здесь вновь происходит перекрывание двух областей — различные способы возникновения вызывают спектральные линии одинаковой длины волны. В видимой области, в единственном участке, воспринимаемом нашим

глазом как свет, лежат, например, многочисленные линии спектра железа и других спектров группы железа, равно как и линии всех элементов, которые соответствуют переходам между высшими возбужденными состояниями. Первые члены главной серии щелочных металлов располагаются, например, также в видимой области, хотя, вообще говоря, переходы между возбужденными и нормальными состояниями ведут к линиям ультрафиолетовых частот. Область видимых волн мала: она охватывает только одну октаву, в то время как инфракрасные волны, например, — приблизительно 12 октав.

Спектроскописты работают со стеклянной оптикой; обнаружение линий и определение их интенсивности производится фотографически. Однако, начиная с длины волны 3600 \AA обыкновенное стекло совсем не пропускает лучей. До длины волны 3000 \AA пользуются увиолевым стеклом, начиная отсюда приходится работать с кварцевой оптикой. Этим область длин волн расширяется до 1850 \AA . Для того, чтобы фотографическим методом обнаруживать линии, пользуются особыми сенсibilизированными пластинками. В ультрафиолетовой области расположены, например, высшие члены главной серии щелочных металлов, побочные серии щелочно-земельных металлов, многие в настоящее время хорошо известные полосы, как полосы N_2 , CN , CO . Начиная с 1850 \AA в сторону коротких волн экспериментирование становится трудным. Именно уже в этой области начинает поглощать кислород воздуха [2], так что работа с обычными методами становится невозможной. Приходится как источник света, так и весь световой путь помещать в вакуум. Так как об этой области в последующем мы будем говорить подробно, то сейчас мы укажем только на смысл трех подразделений в нашем чертеже. Интервал, обычно называемый областью Шумана, простирается до 1250 \AA , — до этих пор дошел Шуман при своих исследованиях; Лаймэн расширил эту область до 510 \AA , и наиболее короткие длины волн, которые в настоящее время достигнуты вакуум-спектроскопическими методами волны в 136 \AA , получены Милликеном и Бауеном [3].

Мы переходим теперь к четвертому отделу нашего чертежа, к области рентгеновских волн. В то время как спектральные линии в части, обозначаемой как область обычных световых волн, обусловлены переходами электронов между внешними незанятыми орбитами, рентгеновские линии возникают вследствие того, что электроны из внутренних заполненных слоев атома поднимаются на периферию атома, а освобождающиеся места заполняются электронами из соседней лежащей наружу оболочки. Исследованная до настоящего времени область рентгеновских волн простирается приблизительно от 20 \AA до

0,1 Å. Так как воздух для рентгеновских волн становится снова прозрачным, то отпадает необходимость в хлопотливой работе в вакууме. Неисследованная до настоящего времени спектроскопически область от 136 Å до 20 Å доступна для ориентировочных измерений при помощи метода электронных ударов. Работам с рентгеновскими лучами более длинных волн предел кладется тем, что в настоящее время неизвестны кристаллы, постоянные которых были бы пригодны для изучения длин волн выше 13 Å. С другой стороны, изготовление искусственных решеток, которые давали бы отчетливые спектры для таких коротких волн, как 100 Å и меньше, очень трудно. К этому мы впоследствии еще вернемся ¹⁾.

После этого короткого обзора различных областей длин волн вернемся вновь к предмету нашей статьи — вакуум-спектроскопии.

ПРОБЛЕМЫ ВАКУУМ-СПЕКТРОСКОПИИ.

Причина, по которой в настоящее время все чаще и чаще обращаются к этой экспериментально трудно доступной области, состоит в том, что здесь надеются получить ответ на многие вопросы относительно строения атомов и молекул, относительно прозрачности твердых тел, фотоэлектричества, фотохимии.

Первая попытка проникнуть в область длин волн меньших 2000 Å была предпринята Шуманом в Лейпциге. В ряде превосходных работ [4] он систематически расширил доступную область длин волн до 1250 Å. Ему мы обязаны первым изучением многочисленных спектров испускания и поглощения атомов и молекул в этой области. Продолжение начатой работы составляет заслугу Лаймэна. В настоящее время вакуум-спектроскопические работы почти исключительно производятся в Америке; назову прежде всего имена Лаймэна, Милликэна, Бауэна, Мак-Леннана, Гоффильда. То обстоятельство, что в Германии Шуман не имел последователей, обусловлено главным образом тем, что мы вынуждены теперь избегать работ, которые связаны с затратой больших технических средств и денежных издержек.

Для познания строения атома и молекулы необходимо изучать спектры испускания и поглощения. В области, доступной изучению только вакуум-спектроскопическими методами, лежат, например, серии поглощения благородных газов. В настоящее время потенциалы воз-

¹⁾ Л. Мейтнер и Эллису удалось расширить исследованную область длин волн до 0,02 Å, изучая распределение скоростей β-лучей и выводя отсюда при помощи теории квантов заключение о первичных γ-лучах. На чертеже эти волны, однако, не начесаны, так как они обнаружены несектроскопическими методами.

буждения и ионизации всех благородных газов известны благодаря исследованиям главным образом Франка [16] и Герца [17], которые пользовались методом электронных толчков. Хотя их результаты повели к весьма важным заключениям — например, в случае гелия к открытию метастабильного гелия — тем не менее их числовые данные не могут полностью заменить спектроскопические результаты, так как точность этих данных естественно меньше спектроскопической. Для точного установления основных состояний таким образом неизбежно необходимы оптические наблюдения.

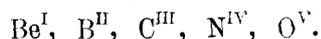
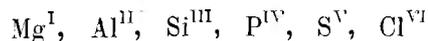
Исключительное экспериментальное искусство Лаймэна [8] позволило впервые у гелия найти спектроскопические основные состояния и сфотографировать резонансные линии в крайней ультрафиолетовой части. О его методе еще будет речь впереди. Недавно он распространил свои исследования на неон и аргон [9]. Одновременно Герц [10] сфотографировал резонансные линии неона. Из этих исследований в связи с другими спектроскопическими данными относительно неона (Пашен, Мейснер, Доргело, Гудсмитт, Иордан [11]) вытекал в качестве основного термина p -терм с внутренним квантовым числом $j = \frac{1}{2}$, а следующие высшие термы — четыре s -терма, из которых два метастабильны. Ультрафиолетовые линии 735 и 743 Å, вытекающие из неметастабильных термов, суть резонансные линии невозбужденного неона. Две соответствующие линии указал Лаймэн в аргоне, и он допускает, что спектр А построен аналогичным анализированному Пашеном спектру Ne. Он нашел также линии, которые соответствовали указанному Герцем потенциалу возбуждения аргона при 14,0 вольт, так что теперь уже менее безнадежна задача внести порядок в богатый линиями спектр аргона. Для Kr и Xe соответствующих вакуум-спектроскопических измерений еще нет.

Подобно тому, как изучение линейных спектров атомов, изучение спектров, строящихся на нормальных состояниях, повело к установлению основных состояний и абсорбционных серий, точно так же измерения абсорбционных полос могут привести к аналогичным результатам для молекул. В какой области лежат вообще абсорбционные полосы молекул? Здесь следует прежде всего установить, что значительное большинство полос, которые мы до сих пор знаем, лежат в видимой части и в ультрафиолетовой и что они, как правило, возникают при квантовых переходах между возбужденными состояниями молекул. Немногие из них исходят от нормального состояния, как, например, отрицательные полосы азота, которые строятся на основном состоянии молекулярного иона. Относительно фиолетовых циановых полос было высказано, например, предположение, что начальным состоянием для них является нормальное состояние [12]. Вероятно,

большая часть полос, исходящих от нормального состояния, расположена в вакуум-ультрафиолетовой области. Сюда относятся, например, абсорбционные полосы азота и кислорода. Хотя в высшей степени важно сначала проанализировать те полосы, которые исходят от нормального состояния, соответственно резонансным линиям у атома, и после этого обратиться к полосам, зависящим от более высоких термов, точные измерения абсорбционных полос в вакуум-ультрафиолетовой области произведены еще совсем в незначительной степени. Хотя уже Шуман, а впоследствии Лаймэн и другие [13] исследовали абсорбцию различных газов в этой области, однако им не хватало источника света с действительно непрерывным спектром в этой области. Недавно Гопфильд и Лейфсон [14] промерили абсорбционные полосы кислорода в области 1240—1850 Å, при чем они пользовались в качестве источника света непрерывным спектром водорода. Действительно, в институте Льюиса (E. P. Lewis) удалось получить такой спектр с достаточной интенсивностью вплоть до 1200 Å, так что им можно было воспользоваться в качестве источника сплошного спектра в вакуум-ультрафиолетовой области. В виду важности, которую этот вопрос имеет для вакуум-спектроскопии, следует коротко указать на возможность получения других аналогичных источников света. Фут, Меджерс и Шено [15] в небольшой заметке сообщают, что они путем бомбардировки металлических пленок из меди, платины, угля и железа электронами в 1000 вольт получали спектр торможения, который можно было проследить сквозь видимую и ультрафиолетовую область. Вполне возможно, что этот спектр в вакуум-ультрафиолетовой части обладает достаточной интенсивностью, так что им можно воспользоваться, как источником света. Лилиенфельд [16] описал серо-голубое свечение фокусного пятна рентгеновской трубки так же, как видимую часть спектра торможения электронов. Повидимому, существует еще одна возможность осуществления источника сплошного спектра для вакуум-ультрафиолетовой области. Андерсон [17] впервые указал, что при взрыве, например, тонкой железной проволоки вследствие разряда большой емкости через проволоку, линии железа представляются абсорбционными на сплошном фоне. Последний возникает вследствие свечения накалившихся частей металла, простирается до наблюдаемой в этих опытах границы 1850 Å и при взрывах в воздухе достаточно интенсивен, но слаб при взрывах в вакууме. Это обусловлено тем, что взрыв в эвакуированном пространстве влечет за собой быстрое разлетание отдельных частиц, между тем как высокое давление сдерживает разряд. Поэтому нужно было бы производить взрыв в сосуде с давлением в одну или две атмосферы He, Ne, A или H₂, чтобы получить непрерывный спектр также и в вакуум-ультрафиолетовой области. Так как температура

во время взрыва оценена приблизительно в 10000° абс., то возможно, что большое число взрывов могло бы дать достаточно интенсивный сплошной спектр в вакуумной области. Недавно Лаймэн указал [18], что он при разряде емкости приблизительно в четверть микрофарады через гейслерову трубку с гелием получил сплошной спектр, который простирался от 1900 до 900 \AA .

Из сказанного ясно почему исследования спектров испускания в вакуум-ультрафиолетовой области гораздо многочисленнее. Дуговые и искровые спектры многих элементов исследованы более или менее детально многочисленными исследователями (например Мак Леннан и сотрудники, Л. и Е. Блох, Фаулер и др.). Особенно обширные результаты получили Милликэн и Бауэн [19]. В ряде систематических исследований они поставили себе задачу отыскать важнейшие сериальные соотношения для атомов, которые, кроме оболочки типа благородного газа, имеют еще только один электрон или большее число их. Другими словами, они сравнивают, например, атомы с K -оболочкой и только одним электроном в L -оболочке, как Li^I , Be^{II} , B^{III} , C^{IV} , N^V , или же атомы с K -оболочкой и с 2, 3 и 4 электронами; или они рассматривали атомы с завершенными K - и L -оболочками и одним, двумя и большим числом электронов в M -оболочке (Stripped atoms). Они подтвердили для дублетов с расщеплениями на p -, d - и f -термы релятивистическую формулу для рентгеновских дублетов $\Delta\nu = k(Z-s)^4$, где k и s — постоянные, а Z — число зарядов ядра. Впоследствии они сделали обратное заключение из найденных ими дублетов, при помощи этой формулы, относительно носителей спектральных линий. В случае триплетов они нашли, что для разности частот наиболее удаленных пар применима соответствующая формула с несколько большими значениями s . Дублеты с p -, d - и p -, s -термами они нашли, в соответствии с систематикой рентгеновских спектров, соответствующими иррегулярным рентгеновским дублетам. Им удалось, например, обнаружить pp' -группы в спектрах следующих элементов с двумя валентными электронами:



Соответствующие pp' -группы они нашли также и у следующих атомов с тремя валентными электронами:



Здесь не место входить в рассмотрение многочисленных результатов этих работ; следует подчеркнуть, что наши сведения об атомных спектрах благодаря этим исследованиям сильно расширены. О методах, которые при этом применялись, будет сообщено в следующей части.

Относительно спектров испускания и поглощения жидкостей и твердых тел в области длин волн меньше 2000 \AA известно еще чрезвычайно мало. Да и в видимой и в ультрафиолетовой части эти вопросы еще мало выяснены вследствие недостаточного количества экспериментальных результатов и большой сложности явлений. Равным образом и о прозрачности твердых тел известно мало данных, которые можно было бы использовать теоретически.

В области фотоэлектричества существуют также вопросы, которые могут быть разрешены только с длинами волн доступными вакуум-спектроскопическим методам. Прежде всего следует назвать два вопроса. Во-первых, вопрос о числе фотоэлектрически освобожденных электронов на единицу абсорбированной энергии, а с ним связан второй вопрос о направлении испускаемых электронов. Мы знаем теперь, что в видимой части при фотоэлектрическом поверхностном эффекте отношение числа освобожденных электронов к числу поглощенных световых квантов значительно меньше единицы (примерно около $1/1000$) и что оно возрастает по мере уменьшения длины волны. С другой стороны, Гудден и Поль [20] при фотоэлектрическом эффекте внутри кристаллов нашли, что это отношение равно единице. Исследования в вакуум-ультрафиолетовой части сделали бы возможными соответствующие измерения для газов, у которых можно ожидать отсутствие побочных эффектов. Вопрос о зависимости направления вылета электронов от направления светового вектора при фотоэлектрическом эффекте можно решить точно также, лишь пользуясь крайним ультрафиолетовым светом, так как для производства измерений величина светового кванта должна сильно превосходить работу освобождения электрона. При использовании рентгеновских лучей, где это условие выполняется, оказалось, что направление вылета совпадает с направлением электрического вектора.

В заключение этого отдела следует еще коротко упомянуть о том, что в фотохимии существуют проблемы, решения которых, быть может, принесут исследования в крайней ультрафиолетовой части. Стоит вспомнить только о газовых реакциях таких газов, которые вплоть до этой области прозрачны, каковы прежде всего реакции азота.

Этих примеров, пожалуй, достаточно для того, чтобы дать некоторое понятие о важности экспериментирования в вакуум-ультрафиолетовой части. Теперь нужно остановиться на методах, применяемых в этой области.

МЕТОДИКА.

Экспериментирование в крайней ультрафиолетовой области значительно труднее, нежели в других областях спектра, ибо, как уже упомянуто, свет должен пробегать весь путь в вакууме или в исследуемом газе. К спектрографам — речь идет о флуоритовых спектрографах с диффракционной решеткой — предъявляются таким образом высокие требования. Они не должны быть слишком велики, чтобы их можно было быстро откачивать; они не должны пропускать воздуха, их установочные приспособления должны быть по возможности таковы, чтобы не приходилось при всяком небольшом изменении открывать спектрограф. Пластинки должны возможно удобнее сменяться; наконец нужно, чтобы источник света можно было располагать возможно ближе от щели. В различных конструкциях эти требования выполняются различными способами. Прежде всего мы остановимся на флуоритовых спектрографах. Ими пользуются целесообразно тогда, когда нужны большие светосилы и когда работают с длинами волн не меньше 1250 \AA . При этом можно упомянуть о том, что согласно указанию Аббе [12] весь плавиковый шпат действительно прозрачный до 1250 \AA происходит из одного только местонахождения около Бриенцкого озера. В 1832 году это были богатые залежи, где встречались куски больше, чем в 100 центнеров весом. В настоящее время мы располагаем, к сожалению, лишь небольшими кусками плавикового шпата — большая часть драгоценного материала была куплена химиками для изготовления плавиковой кислоты. После того, как в результате усиленных поисков старое местонахождение было открыто вновь, фирма Цейсс произвела изыскания, которые показали, что предшествующая разработка была действительно весьма основательна, так как удалось найти лишь немного небольших пригодных для дела кусков. Лаймэн [22] упоминает в своей книге светло-зеленый плавиковый шпат из Вестморленда (Нью Гемпшир С. Ш. С. А.), который почти также прозрачен, как и упомянутый неокрашенный плавиковый шпат. Применение флуоритовых спектрографов определяло собою также предельную длину волны, до которой дошел Шуман в своих исследованиях. Его спектрограф был технически так хорошо сконструирован, что любую установку можно было произвести, не впуская в спектрограф воздух. В нижеследующем, в качестве примера новой конструкции, описывается флуоритовый спектрограф Мак Ленайна [23].

Металлическая оболочка аппарата сделана из латуни, которая с одного конца закрыта кассетой (рис. 2). Последняя имеет форму плоского ящичка, в который сбоку может быть вдвинута пластинка, после чего ящичек закрывается латунной крышкой. *A* и *B* — металлические трубки, в точности подогнанные к основной трубе, при чем *A*

несет шайбу с флуоритовой линзой, а *B* — щель. Шайба, конечно, просверлена, для того чтобы возможна была откачка. Присоединение источников света к спектрографу видно на рисунке. В позднейшей работе Мак-Леннан [24] описал несколько иную модель, так как установка только описанного спектрографа всякий раз требовала много времени.

В новой конструкции призма, вторая линза и кассета расположены внутри одного и того же цилиндра из литой бронзы высотой в 7,5 см, с внутренним диаметром в 30 см и толщиной стенок в 1 см (рис. 3). Крышка должна сниматься при каждой установке и при перемене пластинки. В коллиматорной трубе *K*, которая приключена к большому сосуду при помощи куска литой бронзы *S*, вставлена концентрически вторая трубка *H*, которая несет щель *G* и линзу коллиматора *E*. Для откачки трубка снабжена отверстиями. К шлифу *T* можно присоединять вакуум-лампу для возбуждения искровых спектров, изображенную на рис. 4. Плечо *P*, на котором укреплена линза *D* и кассета *AB*, может вращаться около оси,

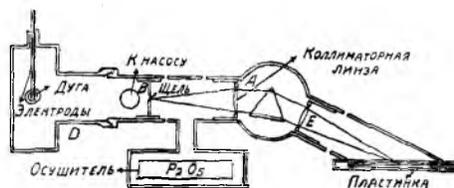


Рис. 2.

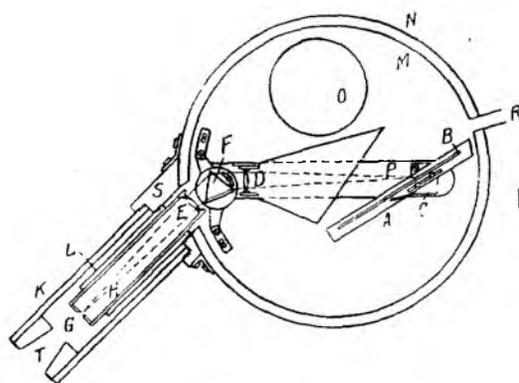


Рис. 3. Флуоритовый спектрограф Мак-Леннана.

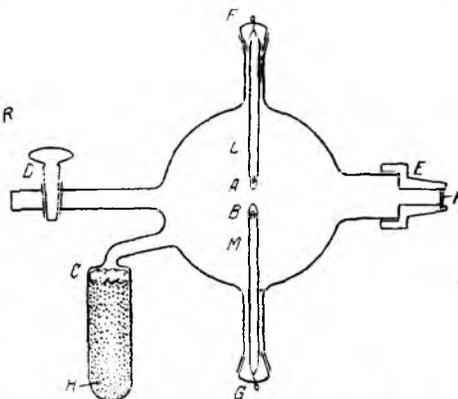


Рис. 4. Искровой разрядник Мак-Леннана).

проходящей через центр призмы. После установки плечо может быть закреплено установочным винтом. Подставки для линзы *D* и для кассеты могут, кроме того, смещаться вдоль *P*. Кроме того, пластинку можно перемещать в ее собственной плоскости. Чашечка *O* содержит P_2O_5 и покрыта стеклянной ватой.

Расположение для искры в вакууме показано на рисунке 4. Это — стеклянный шар диаметром 10 см с алюминиевыми подводками *L* и *M*. *A* и *B* — куски соответствующего элемента, искровой спектр которого подвергается исследованию, *K* — окошко из флу-

рита. Аппарат во время опыта наполняется гелием при атмосферном давлении.

Конструкция и установка спектрографов с решеткой проще. Щель, фотографическая пластинка и решетка лежат на окружности одного и того же круга, диаметр которого равен радиусу кривизны решетки. Установочные приспособления обычно устроены так, что

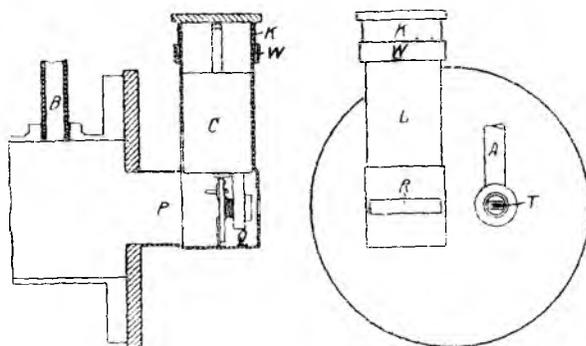


Рис. 5. Держатель фотографических пластинок вакуум-спектрографа.

решетку можно вращать около горизонтальной и вертикальной оси и смещать вдоль оси спектрометра. Таким образом щель и держатель для пластинки не закреплены неподвижно. Расположение источника света варьирует весьма значительно в зависимости от поставленной цели.

Милликэн [25], который исследовал искровые спектры в высоком вакууме, располагал источник света в самом спектрографе перед щелью. Пустотный искровик Мак Леннана уже изображен на рис. 4. Мак Леннан пользовался этим искровиком не только для флуоритового, но и для вакуум-спектрографа с решеткой [26], однако без флуоритового окошка, при чем относительно большое расстояние источника света от щели в последнем случае было более неудобно, нежели в первом. Недавно описанный Лаймэном [27] вакуум-спектрограф с решеткой устраняет этот недостаток. Он приведен в качестве примера на следующих рисунках (рис. 5 и 6).

Решетка размером 5×3 см имеет радиус кривизны 50 см и расположена в латунной трубке с внутренним диаметром в 9 см, которая на обоих концах снабжена флянцами. Сторона, где расположена решетка, закрывается круглой пластинкой и замазывается мягким клеем. Эта сторона на рисунке не изображена. Решетка может устанавливаться обычным образом. На другой стороне соединение между флянцем и закрывающей пластинкой замазано клеем Хотинского. Держатель для пластинки состоит из особой трубки *C* (рис. 6), которая пригнана к трубке *L* (рис. 5). На одном конце она снабжена рукояткой, кото-

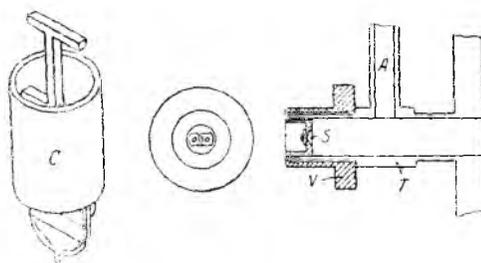


Рис. 6. То же. Деталь.

рая позволяет ее перемещать, а на другом конце имеется пластинка Q с вырезами для фотографических пластинок размером 4×1 см. Чтобы можно было осуществлять различный наклон пластинки, C допускает вращение вокруг вертикальной оси. Цилиндр L (рис. 5) наверху охватывается кольцом W , и промежуточное пространство между L и W заполнено некоторым количеством сургуча. Крышка K имеет цилиндрическую насадку, которая входит как раз в промежуток между L и W . Путем нагревания сургуч расплавляется и после остывания закрывает промежутки непроницаемо для воздуха. Насадка T содержит щель, и к ней непосредственно присоединяется источник света, так что он оказывается вблизи от щели. Преимущество этого спектрографа, которое подчеркивает Лаймэн, состоит в том, что его без особого труда можно сделать абсолютно непроницаемым для воздуха.

Другой конструкцией пользуется Гопфильд [28]. Это — спектрограф, построенный Льюисом, с решеткой с радиусом кривизны в 50 см, которая помещается не в длинной трубке, как обычно, но в ящичке из литой латуни в форме сектора. Таким образом для установочных приспособлений остается больше места, нежели при обычной форме спектрографа в виде трубы. В вакуум-спектрографе, построенном Гильгером [29], держатель для пластинки при помощи шлифа укреплен в особой трубке, которая выходит из передней пластинки. Две щели расположены в той же трубке под держателем для пластинок. Недавно Г. Герц [30] сконструировал вакуум-спектрограф с решеткой, пользуясь весьма простыми средствами. Детали конструкции будут опубликованы им в ближайшем будущем.

Следует сказать еще несколько слов о решетках. Решетки, употребляемые в видимой и ультрафиолетовой части, вообще говоря, для вакуум-ультрафиолетовой части не пригодны, так как небольшие неровности в бороздках решетки вредят настолько, что свет очень короткой длины волны диффузно рассеивается. Для более длинных волн эти неровности не существенны, так как они малы по сравнению с длиной волны. Таким образом для решеток, применяемых в вакуум-ультрафиолетовой части, важно точное деление и хороший материал. При обычном числе штрихов — 500 — 1100 штрихов на мм — отношение расстояния между штрихами к длине волны для совсем коротких длин волн приблизительно равно 100:1. Милликэн, Бауэн и Соьер [31] царапали свою решетку очень легко и поверхностно, так что часть поверхности оставалась неповрежденной. При таком способе гораздо легче получать совершенно равномерные штрихи. Они получали при определенном соотношении поверхности решетки к поверхности бороздок, что главная интенсивность приходится на среднее изображение и на первый порядок. Недавно, при том же методе, Андерсон [32] с очень легко царапанными решет-

ками получал превосходные спектры в 7, 8 и даже 10 порядке. С этими решетками Милликэн и Бауэн получали свои обширные результаты относительно спектров многократно ионизированных атомов. Лаймэн также находит метод неглубокого царапания решеток весьма выгодным для вакуум-ультрафиолетовой области.

Для спектральных снимков вакуум-ультрафиолетовой области обычно применяются Шумановские пластинки (свободные от желатина пластинки, так как желатин начиная от 2000 \AA , поглощает все сильнее по мере уменьшения длины волны). Если в точности придерживаться способа, указанного Шуманом [33], то не трудно изготовлять самому эти пластинки в лаборатории. Способ, указанный Дюкло и Жанте [34] и состоящий в использовании чрезвычайно тонкого слоя масла, нанесенного на обычную фотографическую пластинку, также весьма удобен и, вследствие своей простоты, может быть в особенности рекомендован. Гопфильд [35] применяет в своих работах особым образом изготовленные filmy, которые оказались очень хорошими.

Мы рассмотрим теперь на нескольких примерах, каким образом в действительности производится исследование в крайней вакуум-ультрафиолетовой области. Лаймэн [36] в ряде работ исследовал спектры гелия. При этом в его первых исследованиях источник света и вакуум-спектрограф были наполнены гелием приблизительно в 1 мм давления и соединены между собой щелью. В качестве источника служил обыкновенный гейслеров разряд. При этом способе возбуждения появлялись многие линии, которые, очевидно, были обусловлены загрязнением. Этому не следует удивляться, так как благородный газ при подобном способе возбуждения необычайно чувствителен. Поэтому в качестве источника света была применена трубка с полыми цилиндрическими электродами, что, по указанию Пашена, в данном случае целесообразно [37], и наблюдение производилось в продольном направлении. Трубка питалась постоянным током. При таком расположении можно было почти совершенно избежать линий от загрязнений, и оказалось возможным причислить к сериям некоторые далекие линии гелия. Так как аппарат был весь наполнен гелием, то абсорбционные линии гелия на длинном пути источник света — пластинка вновь поглощались и поэтому не наблюдались. Чтобы избежать этого, Лаймэн все время впускал гелий в пространство, занятое источником света. Газ диффундировал через узкую щель в спектрограф, но оттуда непрерывно откачивался быстродействующим насосом: метод, которым многократно пользовался Вин при своих исследованиях каналовых лучей.

Расположение, избранное Лаймэном, в конце концов видно на следующем рисунке (рис. 7). Спектрограф состоял из трубки из тя-

нцтой латуни с внутренним диаметром 14,9 см. На одном конце, закрытом латунной пластинкой, помещалась решетка; этот конец на рисунке не изображен. На другом конце была насадка с пластинкой *A*, в которую входила трубка *B*, содержащая щель. Далее с *A* соединялся латунный ящикек *C* с держателем для пластинки, который монтировался на латунной пластинке *D*. Открытый конец *C* заканчивался флянцем с закрывающей пластинкой *E*, при чем для лучшей воздухонепроницаемости соединительное кольцо снабжалось мягким клеем. *W* — стеклянная пластинка, которая во время экспозиции была наглухо закрыта. Держатель для пластинки мог перемещаться в горизонтальном и вертикальном направлении, вращаться вокруг вертикальной оси. Вертикальное перемещение совершалось при помощи

электромагнита, расположенного над *C*, так что можно было на одной пластинке производить несколько снимков, не открывая каждый раз спектрограф. Свет от решетки попадал на пластинку через щель *F* шириною в 2 мм и длиною в 7,8 см. Соответствующую щель имела и пластинка *A*. Эта щель соединялась с прямоугольной трубкой *H*, которая в свою очередь была соединена со второй аналогичной трубкой с диафрагмой *K*. Щель *S* имела в высоту 0,16 мм, и в ширину обычно 0,04 мм. Насадка *T* велась к насосу для того, чтобы газ, поступающий через щель, тотчас же откачивался. Остальная часть спек-

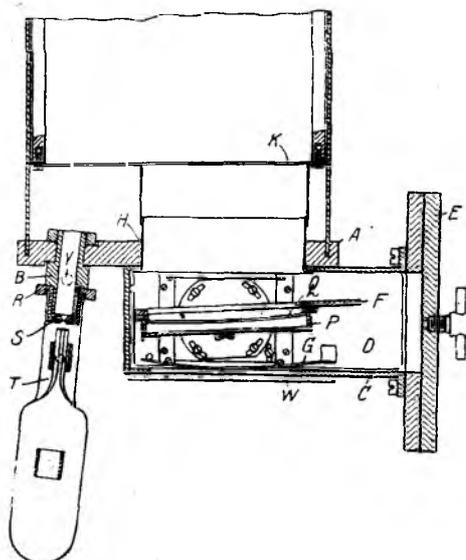


Рис. 7. Спектрограф Лаймэна.

трографа откачивалась через трубку, симметрично расположенную в его середине. Для того, чтобы по возможности избежать поглощения в сосуде с источником света, вводилась капиллярная трубка, которая подходила возможно ближе к щели. Для эвакуирования имелось особое соединение с насосом. Во время разряда газ подтекал по очень тонкому капилляру. Таким образом все время поддерживалось давление приблизительно в 1 мм. Разряд в большинстве случаев производился постоянным током, сила которого составляла 15—20 миллиампер. Для исследования искрового спектра применялся полый катод Пашена. Так как при изучении новой области спектра особенно опасно было появление ложных линий (так называемых „духов“, обусловленных периодическим повторением неправильности решетки), то Лаймэн снимал одни и те же спектры несколькими решетками, ко-

торые были изготовлены различными способами. Сравнивая затем спектры, полученные этими решетками, он мог разделить истинные и ложные линии.

Аналогичный прием избежания абсорбции путем поддержания в спектрографе высокого вакуума использовал Герц при исследовании абсорбционных линий неона [38].

Иное расположение избрали Милликэн и его сотрудники для исследования искровых спектров элементов. Как уже упомянуто, они располагали источник света в спектрографе непосредственно перед щелью, т.-е. помещали его в высокий вакуум. Они пользовались при этом искрой весьма большой энергии, которая проскакивала между электродами, расположенными на расстоянии в 1 мм или меньше. Подводки были введены в спектрограф. Во время снимков непрерывно производилась сильная откачка. Так как искры были очень горячи, то подводки, электроды и изоляция нагревались настолько, что они отдавали много газа. Поэтому после секундной экспозиции приходилось ожидать 5', чтобы вновь откачать выделившийся газ. Для снимка необходима была полная экспозиция в 5—20', смотря по электродам. Отсюда уже видна большая светосила искры. Очень трудно было избежать вуалирования пластинок. Оно ослаблялось прежде всего тем, что при помощи диафрагм на пластинку допускали действовать только прямой свет. Однако наибольшую трудность представляло то обстоятельство, что во время экспозиций решетка покрывалась налетом, вследствие чего ее качество сильно понижалось. Длительным опытом авторы установили, что налет на решетке состоял из серы и соединений серы, которые освобождались из эбонитовой изоляции и эбонитовых колец вследствие нагревания. После того, как изоляцию подводок стали делать из синтетического янтаря, и резиновые прокладки из материала, свободного от серы, продолжительность жизни решетки сильно увеличилась, выделение газа уменьшилось, и вместе с тем были получены ясные негативы.

Так как мы не можем здесь останавливаться на различных методах, применяемых различными авторами, следует еще для примера указать на исследование Мак Леннана с сотрудниками [40], а также на работу Гопфильда [41], в которой он описывает охлаждаемую маслом разрядную трубку, которая питалась высоким напряжением, и применение которой сильно уменьшило время экспозиции.

Изложенное в этой статье дает представление о методах, которые применяются в этой столь трудно доступной для эксперимента области, и, быть может, позволяет понять, почему эта область привлекает к себе все бóльший интерес.

ЛИТЕРАТУРА.

1. A. Glagolewa - Arkadiewa, *Zeitschr. für Phys.* 24, 153, 1924.
2. V. Schumann, *Smithsonian Contribution to Knowledge.* 29, № 14, 1903.
- L. et E. Bloch, *Comp. Rend.* 158, 1161, 1914; E. Schmidt, *Zeitschr. für Physik* 31, 475, 1925.
3. R. A. Millikan and J. S. Bowen, *Phys. Rev.* 23, 1, 1924.
4. Литература см. в обзоре Франка, *Phys. Zeitschr.* 22, 1921. Также: Compton and Mohler, *Bull. of the National Research Council, Critical Potentials*, 1924.
5. Литература см. Th. Lyman. *The Spectroscopy of the Extreme Ultraviolet*, 1914.
6. J. Franck und P. Knipping, *Phys. Zeitschr.* 20, 481, 1919; *Zeitschr. für Phys.* 1, 320, 1920. J. Franck und F. Reiche, *Zeitschr. für Phys.* 1, 154, 1920.
7. G. Hertz, *Zeitschr. für Phys.* 22, 18, 1924; G. Hertz und K. R. Kloppers, *Zeitschr. f. Phys.* 31, 463, 1925.
8. Th. Lyman, *Phil. Mag.* 41, 814, 1921; *Science* 56, 167, 1922; *Astroph. Journ.* 60, 1, 1924.
9. Th. Lyman and F. Saunders, *Nature* 116, 358, 1925.
10. G. Hertz, *Naturwissenschaften* 13, 489, 1925.
11. F. Paschen, *Ann. d. Phys.* 60, 405, 1919; K. W. Meissner, *Ann. d. Phys.* 76, 124, 1925; P. Jordan, *Zeitschr. für Phys.* 31, 877, 1925.
12. K. Mulliken, *Nature*, 114, 858, 1924.
13. См. 5.
14. S. J. Hopfield and S. W. Laifson, *Phys. Rev.* 22, 716, 1925.
15. P. D. Foote, W. F. Meggers and K. L. Chenualt, *Journ. of Opt. Soc. Am.* 9, 541, 1924; 10, 287, 1925.
16. J. Lilienfeld, *Phys. Zeitschr.* 20, 280, 1919; 21, 249, 1920.
17. J. A. Anderson, *Astroph. Journ.* 51, 37, 1920.
18. Th. Lyman, *Astroph. Journ.* 60, 1, 1924.
19. J. S. Bowen and R. A. Millikan, *Phys. Rev.* 24, 209, [1924; 25, 590, 1925; 26, 150, 1925.
20. B. Gudden und R. Pohl, *Phys. Zeitschr.* 23, 417, 1922.
21. Ernst Abbe, *Ges. Abh. Bd. 1*, p. 484, 1909.
22. Th. Lyman, *Spectroscopy etc.* p. 58, 1914.
23. J. C. Mc Lennan, D. C. Ainslie and D. S. Fuller, *Roy. Soc. Proc. A*, 95, 316, 1919.
24. J. C. Mc Lennan and A. C. Lewis, *Proc. Roy. Soc. London, A*, 98, 109, 1920.
25. R. A. Millikan and R. A. Sawyer, *Phys. Rev.* 12, 168, 1918.
26. J. C. Mc Lennan, *Proc. Roy. Soc. A*, 98, 115, 1920.
27. Th. Lyman, *Journ. Opt. Soc. Am.* 7, 495, 1923.
28. J. J. Hopfield, *Phys. Rev.* 20, 573, 1922.
29. Simeon, *Proc. Roy. Soc., A*, 102, 484, 1923.
30. G. Hertz, *Physica* 5, 159, 1925.
31. R. A. Millikan, J. S. Bowen and R. A. Sawyer *Astroph. Journ.* 53, 150, 1921.
32. J. S. Bowen and R. A. Millikan, *Phil. Mag.* 48, 259, 1924.
33. V. Schumann, *Ann. d. Phys.* 5, 349, 1901.
34. Duclaux et Jeantet, *Science* 58, 48, 1923.
35. Cp. 28.
36. Cp. 8.
37. F. Paschen, *Ann. d. Phys.* 71, 142, 1923.
38. Cp. 10 и 30.
39. R. A. Sawyer, *Astroph. Journ.* 52, 286, 1920.
40. Mc Lennan и соотрудн. *Trans. Roy. Soc. Can.* 1920—1925.
41. Cp. 28.