

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

А. С. КАЗАЧЕНКО

60/

ЭЛЕКТРОН

ЭМ 15

ОНТИ
1934
ТУ

ПОПУЛЯРНАЯ БИБЛИОТЕКА ПО ФИЗИКЕ

ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ Ю. Б. РУМЕРА

А. С. КАЗАЧЕНКО

Э Л Е К Т Р О Н

**ПОПУЛЯРНОЕ ИЗЛОЖЕНИЕ
ОСНОВНЫХ ВОПРОСОВ ФИЗИКИ АТОМА**



ОНТИ

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1934 ЛЕНИНГРАД**

Г. 943/2
ПРОЦЕСС

ОГЛАВЛЕНИЕ

1938
ПРОЦЕСС

Стр.

Предисловие	3
Глава I. Что такое электрон	4
Глава II. Как был определен заряд отдельного электрона	7
Глава III. Электроны в пустотной трубке	11
Глава IV. Атомы положительного электричества	18
Глава V. Чему учит радий	23
Глава VI. Строение атомов	29
Глава VII. Электроны в атомах	38
Глава VIII. Об электронном токе	42
Глава IX. Термоэлектроны и фотоэлектроны	48
Глава X. Как электроны создают свет	56
Глава XI. Электроны и волны	60
Словарь физических терминов	64

ГОС. ПУБЛИЧНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА СССР1411 25
601
16 729

Редакция А. Левашева. Оформление С. Дыман.
Корректурa О. Барашковой. Выпускающий Л. Волкович.

ГТИ № 6. Тираж 10.000. Подп. в печ. с матриц 26/IX 1934 г. Формат
бумаги 82 × 110. Авторск. лист. 4 1/2. Бумажн. лист. 1 1/8. Печ. зн. в бу-
мажн. листе 156 400 Заказ № 1247. Уполномочен. Главлита В-73465.
Выход в свет октябрь 1934 г.

3-я тип. ОНТИ им. Бухарина. Ленинград, ул. Моисеенко, 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемая книга стремится дать популярное изложение физики атома и предназначается для широкого круга читателей, имеющих небольшую подготовку по физике и математике. Поэтому мы сочли необходимым поместить в конце книги словарь физических терминов, в котором даны определения основных физических величин и понятий, встречающихся в книге, а также и те математические расчеты, которые загромождали бы текст и затрудняли менее подготовленных читателей.

Автор.

Ноябрь 1933 г.

ГЛАВА I

ЧТО ТАКОЕ ЭЛЕКТРОН

1933 год — знаменательная юбилейная дата. Ровно сто лет назад английский физик Фарадей, изучая разложение растворов солей электрическим током, установил два закона, которые легли в основу электрохимии, превращающейся на наших глазах в важнейшую отрасль химической промышленности. Эти два закона носят название законов электролиза; они определяют зависимость между количеством электричества, прошедшего через раствор (электролит), и количеством чистого вещества (например металла), отложившегося при этом.

Так, например, если через раствор медного купороса пропустить один кулон электричества, то из раствора выделится 0,329 мг (миллиграмма) меди; если то же количество электричества пройдет через раствор серебряной соли, то выделится 1,118 мг серебра; при прохождении же одного кулона через раствор серной кислоты выделяется 0,01044 мг водорода. Таким образом между количеством электричества и количеством выделяемого из раствора вещества существует какая-то зависимость. Эта зависимость устанавливается следующим образом.

Возьмем водород. Мы видели, что один кулон электричества выделяет 0,01044 мг, или 0,00001044 г (грамма) водорода. Можно поставить вопрос: какое количество электричества необходимо пропустить через раствор серной кислоты, чтобы выделить один атом водорода? При современных наших сведениях ответ на этот вопрос не представит затруднений. Так как масса одного атома водорода равна $1,663 \cdot 10^{-24}$ г, то одним кулоном электричества выделяется

$$\frac{0,00001044 \text{ г}}{1,663 \cdot 10^{-24} \text{ г}} = 6278 \cdot 10^{15} \text{ атомов.}$$

А один атом водорода выделяется действием $\frac{1}{6278 \cdot 10^{15}} = 15,9 \cdot 10^{-19}$ кулона.

Оказывается, из каких бы соединений ни выделялся водород, всегда для выделения одного атома его электролитическим

путем необходимо пропустить через разлагаемый раствор $1,59 \cdot 10^{-19}$ кулона электричества.

Этот весьма важный факт необходимо запомнить.

Подобным же образом можно рассчитать, сколько электричества должно пройти, например, через раствор серебряной соли, для того чтобы выделить один атом серебра. Принимая во внимание, что масса атома серебра в 107,88 раза больше массы атома водорода, т. е. равна $179,4 \cdot 10^{-24}$ г, мы подобно предыдущему можем вычислить, сколько атомов серебра выделяется при прохождении кулона через раствор серебряной соли¹; это число оказывается в точности совпадающим с числом атомов водорода; отсюда нетрудно сделать заключение, что для выделения одного атома серебра необходимо пропустить через электролитическую ванну $1,59 \cdot 10^{-19}$ кулона электричества.

Как видим, для выделения одного атома водорода и одного атома серебра необходимо одинаковое количество электричества!

Полученные нами результаты не случайны. Оказывается, то же количество электричества необходимо для выделения из раствора и одного атома хлора, и одного атома натрия, и одного атома калия, и атомов целого ряда других веществ.

Не менее интересный результат получится, если подсчитать, какое количество электричества выделяет один атом меди или кислорода, или свинца. Оказывается, что у этих веществ один атом выделяется при прохождении через раствор $3,18 \cdot 10^{-19}$ кулона, т. е. количества электричества, ровно в двое большего, чем то, которое необходимо для выделения одного атома водорода, или: серебра, или хлора.

¹ Для вычисления необходимо иметь в виду, что один кулон электричества при прохождении через раствор серебряной соли (например азотнокислого серебра — AgNO_3) выделяет 0,001118 г серебра; таким образом:

$$\frac{179,4 \cdot 10^{-24}}{0,001118} = 1,59 \cdot 10^{-19} \text{ кулона}$$



М. Фарадей.

Если рассчитать, какое количество электричества нужно для выделения одного атома алюминия или азота, или фосфора, то окажется, что его необходимо в т р о е б о л ь ш е, чем для водорода.

Таким образом мы видим, что количество электричества, действием которого выделяется один атом водорода (серебра, хлора и пр.), является н а и м е н ь ш и м; это количество, равное $1,59 \cdot 10^{-19}$ кулона, является как бы самой малой порцией электричества. Во всех случаях для выделения одного атома вещества необходимо пропустить через раствор или $1,59 \cdot 10^{-19}$ кулона, или $2 \times 1,59 \cdot 10^{-19}$ кулона, или $3 \times 1,59 \cdot 10^{-19}$ кулона, но никогда не бывает так, чтобы требовалась лишь какая-нибудь часть или вообще нецелое число таких порций электричества ($1,59 \cdot 10^{-19}$ кулона). Это наводит на мысль, что найденная нами порция электричества является неделимой порцией.

Впервые в отчетливой форме такого рода заключение было сделано немецким ученым Гельмгольцем в 1881 г. Сущность этого заключения состоит в том, что электричество, подобно обычной материи, имеет атомное строение, что с каждым атомом вещества связаны или 1, или 2, или 3, или вообще целое число атомов электричества.

Вот что говорил Гельмгольц в своей лекции в честь Фарадея в 1881 г.

«Самым поразительным следствием закона Фарадея является, быть может, следующее. Если мы примем гипотезу, что простые вещества составлены из атомов, то мы не можем избежать заключения, что и электричество, как положительное, так и отрицательное, разделяется на определенные элементарные порции, которые ведут себя, как атомы электричества».

А в 1897 г. английский ученый лорд Кельвин (Вильям Томсон) замечает: «Фарадеевы законы электролиза вынуждают приписать электричеству атомные свойства».

Неудивительно поэтому, что уже в 1891 г. появился и термин для обозначения этого нового физического агента — атома электричества: проф. Дж. Стоней предложил назвать его э л е к т р о н о м¹.

Таким образом к концу XIX столетия с полной очевидностью было установлено, что электричество состоит из мельчайших частиц, которым и было дано название э л е к т р о н о в; больше то-

¹ Словом «э л е к т р о н» древние греки называли и н т а р ь. Янтарь был веществом, на котором были замечены впервые электрические явления.

го, было установлено, что заряд электрона представляет собой вполне определенную величину, а именно: $1,59 \cdot 10^{-19}$ кулона.

Мы видели, что к этой величине приводят подсчеты, сделанные на основании законов Фарадея. При этих подсчетах мы считали само собою разумеющимся допущение, что любой атом водорода выделяется одним и тем же количеством электричества; то же допущение мы делали и относительно атомов других веществ (хлор, серебро и пр.).

А если это не так? Если для выделения каждого атома водорода нужно неодинаковое количество электричества? Что представляет в таком случае наш результат? Он должен обозначать не что иное, как среднее количество электричества, нужное для выделения одного атома водорода; это среднее значение получается при выделении огромного количества атомов ($6278 \cdot 10^{15}$ атомов!). Само собою разумеется, что можно предположить, что для выделения каждого в отдельности атома водорода может быть необходимо действие не $1,59 \cdot 10^{-19}$ кулона, а для одного большего, а для другого — меньшего количества электричества.

Так ли это, — могут ответить лишь прямые опыты.

ГЛАВА II

КАК БЫЛ ОПРЕДЕЛЕН ЗАРЯД ОТДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОНА

Итак, нужно было попытаться определить не посредственно величину электрического заряда, носящего название электрон. Эта задача была решена в самом начале XX столетия Милликеном и Эренгафтом.

Идея опыта сравнительно проста. Возьмем, например, магнит и приблизим его к какому-нибудь железному телу, например к стальному перу. Перо притянется к магниту. В этом случае сила, с которой притягивает магнит перо, больше, чем вес пера. Можно подобрать (хотя это и очень трудно) такое расстояние между пером и магнитом, при котором сила притяжения пера будет равна весу пера; в таком случае перо должно остаться висеть в воздухе.

Вот это простое явление и было положено в основу опыта Милликена.

В небольшой камере (рис. 1), снабженной несколькими окошечками, были укреплены две металлические пластинки, а на изоля-

торах; эти пластинки соединялись с полюсами электрической батареи (B), так что одна из них имела на себе положительный, а другая отрицательный электрический заряд. Через верхнее отверстие O_1 в камеру вводилась очень маленькая капелька какой-нибудь жидкости (ртуть, масло), заряженная электричеством. Если пластинки не соединены с батареей, т. е. если они не заряжены, введенная в камеру капелька жидкости будет медленно опускаться вниз под действием силы тяжести; встречая сопротивление воздуха, капелька будет опускаться равномерно. Если же пластинки соединить с батареей, то опускание капельки будет происходить по-иному.

Предположим, что капелька заряжена отрицательно (рис. 2); предположим в то же время, что верхняя пластинка камеры заряжена также отрицательно, а нижняя положительно. В таком случае

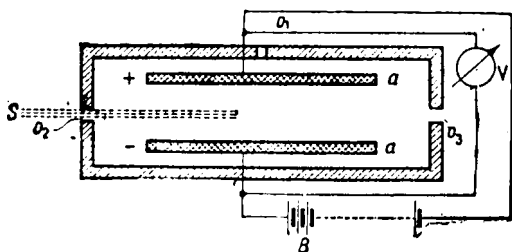


Рис. 1.

капелька будет отталкиваться одноименно с ней заряженной верхней пластинкой и притягиваться нижней: капелька станет быстрее опускаться. Наоборот, если при том же заряде капельки верхняя пластинка будет заряжена положительно, а нижняя отрицательно (рис. 3), то капелька или станет опускаться медленнее, чем раньше, или она совсем не будет опускаться, или, наоборот, она станет подниматься вверх: все будет зависеть от того, какова разность потенциалов пластинок.

И вот Милликен подбирал такую разность потенциалов, чтобы электрическая сила, действующая на заряженную капельку снизу вверх, вполне уравнивала вес капельки; в таком случае капелька оставалась висеть в камере неподвижно. Само собой разумеется, этого можно было достигнуть лишь в том случае, когда капелька была видима; для этого ее освещали сбоку через боковое окошечко O_2 и наблюдали за нею в микроскоп, расположенный против переднего окошечка (рис. 1).

Если затем каким-нибудь способом изменить заряд капельки, то она выйдет из равновесия и двинется или вверх или вниз. Так, если отрицательный заряд капельки увеличится, то она станет двигаться вверх, — при условии, что верхняя пластинка камеры соединена с положительным, а нижняя с отрицательным полюсом батареи (рис. 3); если же отрицательный заряд капельки уменьшится, то при тех же условиях капелька станет опускаться; объяснить это можно следующими соображениями: капелька с меньшим зарядом будет слабее притягиваться верхней положительной пластинкой и слабее отталкиваться нижней, отрицательной, вследствие чего сила тяжести, действующая на нее, окажется больше, и капелька начнет опускаться.

Понятно, что для возвращения капельки снова в равновесие необходимо увеличить воздействие со стороны зарядов пластинок на

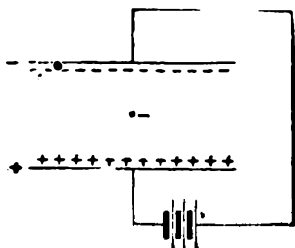


Рис. 2.

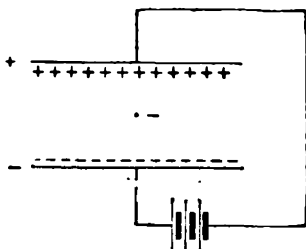


Рис. 3.

капельку. Это достигается тем, что увеличивается разность потенциалов между пластинками.

Но как, не касаясь капельки, изменить ее заряд? Такой способ имеется. Он состоит в том, что капельку освещают ультрафиолетовыми или рентгеновскими лучами. Оказывается, что эти лучи при действии их на многие тела способны уменьшать на них их отрицательный заряд.

Этим и воспользовался Милликен в своем опыте: освещая сбоку через третье окошечко O_3 капельку ультрафиолетовыми или рентгеновскими лучами, он мог снимать больший или меньший отрицательный заряд.

Вот данные одного из таких опытов. Расстояние между пластинками в камере 0,5 см; вес капельки $0,00000000001 \text{ г}^1$; капелька

¹ Или 10^{-11} г . Определение веса таких малых частиц не может быть произведено, конечно, непосредственным взвешиванием; но, определяя диаметр капли в микроскопе и вычисляя ее объем, можно по удельному весу вещества вычислять вес капли.



А. Ф. Иоффе.

$2 \cdot 1,59 \cdot 10^{-19}$ кулона, или $3 \cdot 1,59 \cdot 10^{-19}$ кулона, или $4 \cdot 1,59 \cdot 10^{-19}$ кулона и т. п., т. е. потеря заряда всегда происходила целым числом порций отрицательного электричества. Мы видим, что и в опытах Милликена величина такой порции электричества оказалась равной заряду, связанному с выделением атома водорода при электролизе, т. е. и в этом случае мы имеем, что порция электричества величиной в $1,59 \cdot 10^{-19}$ кулона есть самое малое количество электричества.

Мы видим таким образом, что в опытах Милликена с поверхности капельки действием ультрафиолетовых лучей снимаются электроны.

Из описания опытов Милликена видно, что заряд электрона был определен не суммарно, а отдельно для каждого электрона.

Опыт Милликена может быть использован для определения веса частиц ничтожно малых размеров. Действительно, разберем опыт, поставленный русским ученым — академиком А. Ф. Иоффе. Он пользовался камерой, в которой расстояние между пластинками было равно 0,385 см; между пластинками, разность потенциалов которых была 40 вольт, находилась в равновесии заряженная металлическая пылинка ничтожно малых размеров. Полное разряжение пылинки при помощи ультрафиолетовых лучей установило, что на ней находился заряд, равный $4,77 \cdot 10^{-19}$ кулона, т. е. три

находится в равновесии, когда разность потенциалов на пластинках равна 154 вольтам; затем капелька освещается ультрафиолетовым светом и начинает медленно опускаться. Чтобы капелька снова пришла в равновесие, приходится увеличить разность потенциалов до 162 вольт.

Подсчет показывает, что капелька в этом случае теряет $1,59 \cdot 10^{-19}$ кулона отрицательного электричества!

Многочисленные опыты Милликена вполне убедительно установили следующее: никогда не наблюдалось в подобных опытах потери электрического заряда меньше чем $1,59 \cdot 10^{-19}$ кулона; в тех случаях, когда потеря заряда была больше этой величины, всегда эта потеря была или

электрона. Вычисление веса такой пылинки дало величину $5 \cdot 10^{-13}$ г!

Никакими самыми чувствительными весами такой пылинки не взвесить. Поэтому камера Миллиkena по справедливости может быть названа чувствительнейшими м и к р о в е с а м и.

ГЛАВА III

ЭЛЕКТРОНЫ В ПУСТОТНОЙ ТРУБКЕ

Мы имели два случая познакомиться с электроном; в первом случае мы имели дело с разложением сложных веществ на более простые при прохождении через них электрического тока; во втором случае электроны снимались с заряженных капелек или пылинок действием ультрафиолетовых лучей.

Эти два случая дали нам возможность определить заряд электрона.

Теперь опишем другие явления, которые позволяют еще лучше познакомиться со свойствами электрона.

Нам хорошо известно, что электричество свободно распространяется в металлах; металлы являются лучшими п р о в о д н и к а м и электрического тока. В дальнейшем мы попытаемся объяснить, почему это так. Теперь же вспомним, что воздух, а также и все другие газы являются н е п р о в о д н и к а м и электричества. Однако мы знаем ряд случаев, когда электричество проходит и через газы. Вспомним хотя бы красивые искры, которые мы можем наблюдать при разряде лейденской банки или между шариками электрической машины, или между полюсами катушки Румкорфа. Сюда же относится молния, представляющая собой подобный же электрический разряд, только грандиознее первых. Во всех перечисленных случаях мы имеем п р о х о ж д е н и е э л е к т р и ч е с т в а ч е р е з в о з д у х. Однако для этого необходимо, чтобы между двумя полюсами была огромная разность потенциалов. Так, для возникновения искры длиной в 1 м.м (миллиметр) между двумя шариками необходимо, чтобы разность потенциалов была не менее 4700 вольт; для возникновения искры длиной в 10 м.м необходима уже разность потенциалов в 30 000 вольт, а для искры в 50 м.м — около 70 000 вольт!

Значит, воздух представляет огромное сопротивление, которое может быть преодолено лишь при весьма большой разности потенциалов.

Посмотрим теперь, как изменяется разряд в воздухе при уменьшении атмосферного давления.

Впервые этим вопросом заинтересовался в 1854 г. французский ученый Гассно, но более подробные опыты были произведены Плюккером (1859 г.).

Для опытов употребляется обычно стеклянная трубка; с обоих ее концов впаиваются э л е к т р о д ы — металлические пластинки, которые снаружи присоединяются к источнику электричества, например, к какому-нибудь повышающему трансформатору; трубка обычно снабжена отростком, который позволяет выкачивать воз-

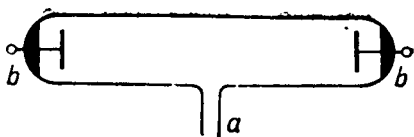


Рис. 4.

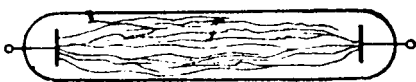


Рис. 5.

дух до большей или меньшей степени разрежения (рис. 4). Наиболее совершенными способами современной техники можно достигнуть разрежений 10^{-8} — 10^{-9} мм (миллиметров) ртутного столба (около 10^{-11} атмосферы).

Если производить разрежение в трубке, электроды которой присоединены к источнику тока большого напряжения, то можно наблюдать следующие явления. При давлении воздуха в трубке около 12 см ртутного столба появляются разрозненные искры,



Рис. 6.

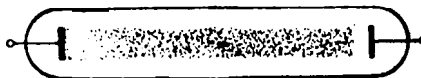


Рис. 7.

пронизывающие трубку по всей длине (рис. 5). Они напоминают беззвучные молнии, зигзагообразно проскакивающие между электродами трубки. Для их возникновения необходимо напряжение около 10 000 вольт.

Понижение давления приводит в изменению картины разряда: при 4 см давления оставшегося в трубке воздуха разряд происходит в виде довольно широкой малинового цвета ленты (рис. 6). При этом около катода трубки появляется слабое синеватое сияние — так называемое к а т о д н о е или о т р и ц а т е л ь н о е с в е ч е н и е.

При дальнейшем разрежении воздуха замечается следующее. Светящаяся лента становится менее яркой; вместе с этим она расширяется и принимает вид светящегося цилиндра, заполняющего пространство внутри трубки (рис. 7). У поверхности *анода* появляется розоватое свечение; это — *анодное*, или *положительное*, свечение. Такая картина наблюдается при давлении воздуха в трубке до 2 мм ртутного столба.

Во всех этих случаях происходит свечение газа, заключенного в трубке.

Однако при давлении газа в 0,002 см и ниже свечение газа уже становится незаметным, и лишь от катода распространяется весьма слабое своеобразное свечение; однако особенно замечательно то, что часть трубки, лежащая против катода, начинает светиться зеленоватым светом. Меняя направление тока в трубке, а тем самым и положение катода, замечаем, что зеленоватое свечение стекла трубки оказывается всегда *против катода*. Что же это за явление и как можно его объяснить?

На этот вопрос попытался ответить немецкий ученый Гольдштейн. Он предположил, что от катода исходят особые невидимые лучи. Вскоре английский ученый Крукс показал, что эти лучи резко отличаются от всякого другого вида лучей.

Опишем некоторые из его опытов.

Катоду придается форма вогнутого зеркала (часть шара); в центре этого шара против зеркала располагается платиновая пластинка (рис. 8); при включении трубки в цепь высокого напряжения платиновая пластинка накаляется добела! Обычными световыми лучами произвести такое нагревание нельзя.

В другом опыте на пути катодных лучей внутри трубки помещается на особых рельсах легкая мельничка (рис. 9). При включении такой трубки в цепь высокого напряжения мельничка катится в сторону от катода. Такое движение Крукс объяснял механическим действием катодных лучей на крылья мельнички. Крукс предполагал, что из катода непрерывно выбрасываются отрицательно заряженные частицы, летящие прямолинейно с огромной скоростью; удары этих частиц о крылья и приводят, по

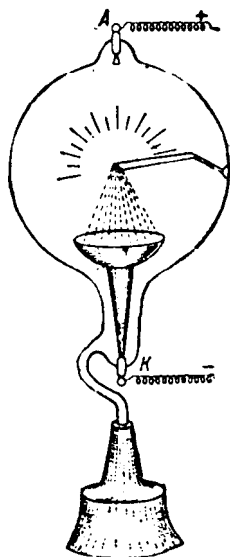


Рис. 8.

мнению Крукса, мельничку в движение. Позднее Томсон показал, что подобное же движение мельнички может быть объяснено нагреванием крылышек мельнички со стороны катода катодными лучами. Поток отрицательных частиц, выбрасываемый из катода, получил название к а т о д н ы х лучей.

Обсудим полученные результаты. Нам неизвестны случаи, когда фокусированием лучей при помощи вогнутого зеркала

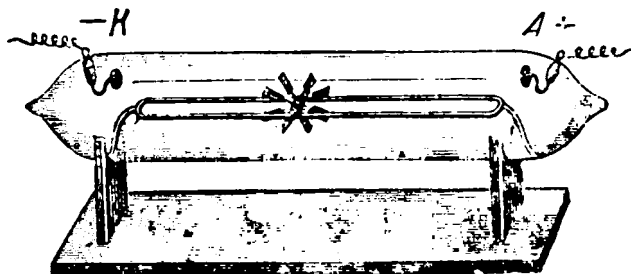


Рис. 9.

достигалась бы температура белого каления (свыше 1900°). А при помощи катодных лучей такая температура достигается просто.

Для объяснения этого нужно допустить, что частицы катодного пучка имеют массу и их кинетическая энергия («живая сила») при столкновении с пластинкой превращается в тепло. Масса этих частиц измерена в настоящее время с большой точностью, она оказалась равной $9 \cdot 10^{-28}$ г.

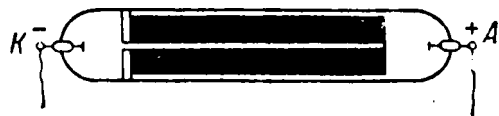


Рис. 10.

В дальнейшем были обнаружены еще более интересные факты.

Рис. 10 изображает

трубку, в которой вде-

лана пластинка, покрытая веществом, способным светиться в темноте под действием катодных лучей. Чтобы резче выделить луч, его предварительно пропускают через узкую щель. Тогда на пластинке выделяется узкая светлая линия. Если к такой трубке поднести магнит, то катодный луч смещается в сторону (рис. 11). Если повернуть магнит другим полюсом, то и смещение пятна произойдет в противоположную сторону. Значит, катодные лучи отклоняются действием магнита, чего не замечается у обыкновенных лучей.

Больше того, отклонение катодных лучей подчинено направлению магнитного поля; за направление магнитного поля какого-нибудь магнита, как известно, считают направление от северного полюса (N) к южному (S).

Если магнитное поле направлено от читателя (рис. 11), то катодные лучи отклоняются вниз; если же магнитное поле будет направлено из-за трубки на читателя, то катодные лучи отклонятся вверх. Подобным же образом ведет себя и всякий проводник с током.

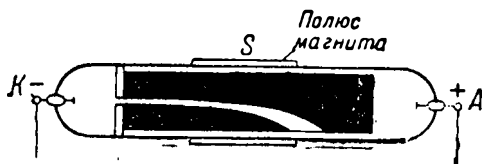


Рис. 11.

Если включить между двумя зажимами гибкий и ненатянутый провод, который пропустить между ветвями магнита, то при одинаковом направлении тока в трубке и в проводе, и при одинаковом

направлении магнитного поля (положении магнита) отклонение катодного пучка и провода будет происходить в одну сторону.

Не менее интересно и действие электрического поля на катодные лучи. Вспомним, как вела себя заряженная капелька между заряженными пластинками в камере Милликена. Оказывается, что подобным образом ведет себя и катодный пучок.

Если приблизить к трубке, в которой возбужден катодный пучок, две пластинки, заряженные разноименно (положительно и отрицательно), то к а т о д н ы й п у ч о к о т

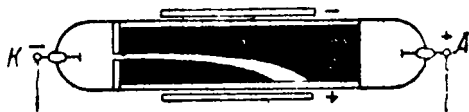


Рис. 12.

клонится в сторону положительной пластинки (рис. 12). А так как нам известно, что тела, заряженные разноименно, притягиваются, а заряженные одноименно отталкиваются, то мы можем утверждать, что к а т о д н ы й п у ч о к несет с собой отрицательный заряд.

Французскому ученому Перрену удалось установить непосредственно знак электрического заряда, переносимого катодным лучом.

Внутри разрядной трубки была помещена небольшая металлическая коробочка с отверстием, обращенным в сторону катода; коробочка была соединена с электрометром — прибором, могущим отмечать весьма малые количества электричества. Как только возбуждались в трубке катодные лучи, в электрометре отмечалось появление за-

ряда, причем определение его знака всегда давало один и тот же результат: заряд всегда был отрицательный.

Итак, исследования катодных лучей приводят к весьма важному выводу: катодные лучи представляют собой поток частиц, заряженных отрицательно.

Многими опытами было установлено, что частицы, составляющие катодный пучок, движутся с огромной скоростью. Так, ученому Вихерту удалось построить аппарат, при помощи которого можно было с значительной точностью измерять скорость движения частиц катодного пучка. Другой метод был разработан английским ученым Дж. Дж. Томсоном. Оба метода дали согласные результаты измерения скорости этих частиц. Скорости оказались лежащими в пределах от 60 000 до 250 000 и более км/сек (километров в секунду).

При этом оказалось, что скорости эти зависят от разности потенциалов между анодом и катодом трубки.

Приведем небольшую табличку, иллюстрирующую сказанное.

Разность потенциалов между анодом и катодом трубки в вольтах	Скорость частиц катодного пучка в км/сек
10 000	60 000
40 000	120 000
90 000	180 000
160 000	240 000

Однако скорость движения частиц катодного пучка никогда не достигает и тем более не превосходит 300 000 км/сек, т. е. скорости света.

Что же это за частицы, которые составляют катодный пучок?

Вспомним, что они обладают отрицательным зарядом, что они обладают массой и, наконец, что скорость их зависит от разности потенциалов между анодом и катодом трубки.

Из общего курса физики известно, что заряд в один кулон, двигаясь в проводнике, имеющем разность потенциалов на концах в один вольт, совершает работу равную одному джоулю. Значит, предположив, что заряд одной частицы катодного пучка равен e кулонам, мы можем утверждать, что энергия каждого такого заряда будет меняться в зависимости от разности потенциалов. Возьмем для примера первую строчку предыдущей таблицы; в ней показано что при разности потенциалов 10 000 вольт частицы катодного пучка приобретают скорость 60 000 км/сек. Мы можем сказать,

что произведение разности потенциалов на заряд частицы, т. е. $10\,000\,e$, представляет собой ту работу, которая затрачивается в трубке на частицу. Так же точно можно сказать, что согласно второй строчке эта работа выразится $40\,000\,e$, и т. д. Вообще можно сказать, что работа, затрачиваемая в трубке на каждую частицу, равна Ve , где V — разность потенциалов между анодом и катодом трубки. Эта работа идет на увеличение скорости частицы от 0 до $60\,000\text{ км/сек}$, или до $120\,000\text{ км/сек}$, или вообще до v . А так как работа, затраченная на увеличение скорости всякого тела, равна так называемой «живой силе» $\frac{mv^2}{2}$, где m — масса тела, а v — его скорость, то можно для любой частицы катодного пучка написать уравнение:

$$Ve = \frac{mv^2}{2}. \quad (1)$$

Отсюда, имея две неизвестных величины: e — заряд частицы и m — ее массу, мы можем попытаться найти так называемый удельный заряд, т. е. величину заряда, приходящегося на единицу массы частицы. Этот удельный заряд представляет собой отношение заряда частицы к ее массе, т. е. $\frac{e}{m}$. Из формулы (1) находим это отношение:

$$\frac{e}{m} = \frac{v^2}{2V}. \quad (2)$$

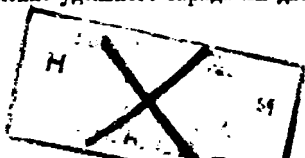
Станем подставлять из таблицы значения v , т. е. значения скорости частиц, и соответствующие им значения V , т. е. разности потенциалов. Подстановка эта дает для удельного заряда частиц:

$$\text{из 1-й строчки: } \frac{e}{m} = \frac{60\,000^2}{2 \cdot 10\,000} = 180\,000;$$

$$\text{» 2-й » } \frac{e}{m} = \frac{120\,000^2}{2 \cdot 40\,000} = 180\,000^1,$$

и т. д.

¹ В этих вычислениях мы не придерживаемся строго выражения величин в единицах определенной системы: вычисление удельного заряда мы даем в слове (см. Удельный заряд).



Заключение из такого расчета делаем следующее: у д е л ь н ы й заряд частиц, составляющих катодный поток, всегда одинаков, т. е. $\frac{e}{m} = \text{const}^1$.

Это может быть в двух случаях: или 1) заряды всех частиц катодного пучка, а также и массы их одинаковы между собой, или 2) заряды, а следовательно, и масса различных частиц не одинаковы; однако самые разнообразные опыты никогда не давали результатов, согласно которым можно было бы считать, что массы частиц катодного пучка различны; все опыты согласно утверждают обратное, т. е. что масса этих частиц одинакова.

Если вспомнить кроме того, что в опытах Милликана ультрафиолетовыми лучами снимались с капелек всегда лишь отрицательные заряды, которые по величине были равны или одному, или двум, или трем, вообще целому числу элементарных зарядов, т. е. электронов, то естественно допустить, что те отрицательные частицы, которые составляют катодный пучок, суть электроны.

Но вместе с этим допущением мы приходим к неожиданному выводу: электрон, являющийся элементарным отрицательным зарядом, обладает массой! Пользуясь формулой (2), подставляя в нее величины скорости и заряда электрона, а также разности потенциалов, создающих соответствующую скорость, можно вычислить и величину массы электрона. Она оказалась равной:

$$m = 9 \cdot 10^{-28} \text{ г}.$$

Вспомним, что масса атома водорода равна $1,663 \cdot 10^{-24}$ г. Если сравнить массу электрона с массой атома водорода, то окажется, что первая меньше второй в $\frac{1,663 \cdot 10^{-24}}{9 \cdot 10^{-28}} = 1848$ раз.

ГЛАВА IV

АТОМЫ ПОЛОЖИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

При первом знакомстве с электронами мы не делали различия между положительным и отрицательным электричеством. Опреде-

¹ Const — общепотребительное сокращение латинского слова constans — постоянное, т. е. постоянная величина.

² Для того чтобы вычислить массу электрона по формуле (2), необходимо все величины выразить в так называемой «абсолютной» системе мер (см. в словаре). Этот расчет там же и сделан (см. Удельной заряд).

ляя электрон как самую малую, известную нам в настоящее время, порцию электричества, мы не указывали, о каком (положительном или отрицательном) электричестве идет речь. Но в последней главе нам пришлось уже отметить, что в катодном пучке мы имеем поток отрицательных частиц, которые являются электронами.

В современной физике электроном называют самое малое, известное нам в настоящее время количество отрицательного электричества, равное $1,59 \cdot 10^{-19}$ кулона.

А как обстоит дело с положительным электричеством? Должно ли и оно, подобно отрицательному электричеству, лишь до определенного предела? Относится ли и к нему найденная нами выше величина электрического заряда в $1,59 \cdot 10^{-19}$ кулона?

Свои вычисления в главе I мы начали с атома водорода. Опыт показывает, что водород при электролизе всегда выделяется на катоде, т. е. на пластинке, соединенной с отрицательным полюсом источника электричества. Чтобы объяснить это явление, мы должны допустить, что атомы водорода в электролитической ванне связаны с положительным зарядом; только в таком случае отрицательный электрод может притянуть их. Итак, опыт даст нам указание на существование положительного заряда у атома водорода перед его осаждением на катоде. Величина этого заряда была вычислена; она оказалась равной $1,59 \cdot 10^{-19}$ кулона. Значит, и положительное электричество, подобно отрицательному, может быть дробимо не до бесконечности, а лишь до определенных пределов. И пределы делимости отрицательного и положительного электричества по величине заряда оказываются одинаковыми. Поэтому некоторое время минимальные заряды положительного электричества называли положительными электронами, а такие же заряды отрицательного электричества — отрицательными электронами.

Но в настоящее время, как уже было сказано выше, название электрон осталось лишь за отрицательным зарядом. Положительный же заряд получил другое название. Это связано между прочим с тем, что положительный заряд существенно отличается от отрицательного не только знаком своего заряда. Он отличается и массой.

Познакомимся с опытами, которые приводят к такого рода результатам.

В 1886 г. берлинский физик Гольдштейн, занимаясь исследованием катодных лучей, заметил одно в высшей степени интересное явление: если в катоде сделать отверстия, то в трубке, присоеди-

ненной к катушке Румкорфа, помимо катодных лучей, возбуждавших, как обычно, свечение стекла против катода, возникает еще свечение газа за катодом (рис. 13). При этом форма светящихся полбс соответствует форме отверстий в катодной пластинке. Вполне естественно объяснить это явление тем, что от анода движутся частицы, заряженные положительно; приближаясь к катоду, они движутся все быстрее и, дойдя до него, проходят по инерции сквозь отверстия в нем. Так как скорость их движения должна быть очень большой, то при столкновении с частицами газа, наполняющего трубку, они вызывают его свечение.

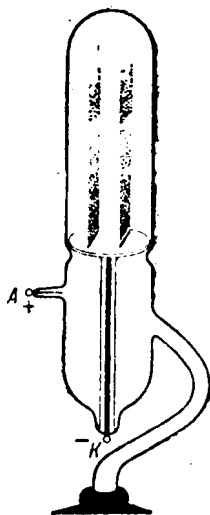


Рис. 13.

Этот вид лучей Гольдштейн назвал канальными лучами, так как они были открыты, когда в катоде имелись каналы (отверстия). Их иначе можно назвать положительными или анодными лучами.

Если правильно заключение о том, что каналовые лучи представляют собой поток положительно заряженных частиц, то можно ожидать, что они будут отклоняться под действием магнитного и электрического поля. При этом, так как заряд частиц, составляющих эти лучи, противоположен заряду частиц катодных лучей, то отклонение их должно происходить в сторону, противоположную отклонению катодных лучей.

Долгое время не удавалось наблюдать отклонение анодных лучей. Лишь спустя 12 лет после открытия их физику Вигу, применившему очень сильные магнитные поля, удалось не только подметить самое явление

отклонения, но и произвести некоторые весьма важные измерения и подсчеты.

Вин действительно наблюдал, что анодные лучи отклоняются в сторону, противоположную той, куда отклонялись бы катодные лучи при действии тех же полей. Этим было установлено, что анодные лучи несут с собой положительные заряды.

Обратим внимание на то, что отклонение анодных лучей могло быть произведено лишь при действии значительно более сильных полей, чем в случае отклонения катодных лучей. Это обстоятельство может быть объяснено лишь тем, что кинетическая энергия движущихся анодных частиц значительно больше кинетической энергии

-частиц катодных. А так как кинетическая энергия движущегося тела выражается формулой

$$\frac{mv^2}{2}, \quad (1)$$

т. е. половиной произведения массы m тела на квадрат его скорости v^2 , то нужно предположить, что или масса анодных частиц больше, чем масса электронов, составляющих катодные лучи, или скорость первых больше, чем скорость вторых, или, наконец, что и масса и скорость положительных частиц больше, чем масса и скорость электронов.

Но мы видели выше, что скорость электронов чрезвычайно велика; она может достигнуть $\frac{9}{10}$ скорости света (270 000 км/сек). Предположить, что частицы положительного электричества могут двигаться с еще большею скоростью, было бы мало вероятно.

Вин и Томсон измерили скорость анодных частиц и нашли, что эти скорости в среднем около 100 км/сек, т. е. приблизительно в 1000—2000 раз меньше, чем скорости электронов в катодном пучке.

Какой же вывод можно сделать из всего этого?

Вывод такой: анодные частицы обладают массой значительно большею, чем масса электронов.

И для анодных лучей были определены неоднократно удельные заряды, т. е. отношение заряда положительной частицы к ее массе. Оказалось, что положительные заряды обычно связаны с атомами или молекулами. Самая малая масса, с которой бывает связан положительный заряд электричества, оказалась равной $1,663 \cdot 10^{-24}$ г. А ведь такой массой обладает, как мы видели, атом водорода. Итак, атом водорода может быть связан с минимальным количеством положительного электричества.

Как же объяснить, что наряду с этим бывают нейтральные атомы водорода (т. е. атомы, не обнаруживающие электрического заряда)?

Для этого необходимо предположить, что в нейтральном атоме водорода имеются по одинаковому количеству положительного и отрицательного электричества. А так как самое малое количество положительного электричества, т. е. $1,59 \cdot 10^{-19}$ кулона, связано с одним атомом водорода, то надо предположить, что в состав нейтрального атома водорода входит одна порция отрицательного электричества, т. е. один электрон. Если же отнять от нейтрального атома водорода один электрон, то в нем останется лишь одна положительная частица электричества.

До последнего времени не удавалось отделить положительный заряд от остальной массы атома водорода. Поэтому считали, что наименьшая порция положительного электричества, величина заряда которой равна $1,59 \cdot 10^{-19}$ кулона, обладает массой, равной массе атома водорода, т. е. $1,663 \cdot 10^{-24}$ г. Эту массу, связанную с наименьшим количеством положительного электричества, называют **п р о т о н о м**. Таким образом протон и электрон составляют нейтральный атом водорода, причем почти вся масса атома приходится на долю протона. Последний наз. ядром атома водорода.

В 1930 г. Боте и Беккер открыли новое излучение, происходящее с поверхности металла бериллия под действием радиоактивных веществ. Это новое излучение отличается весьма сильной проникающей способностью; кроме того оно не поддается действию ни магнитного, ни электрического поля.

Тщательные вычисления и опыты привели английского ученого Чадвика к заключению, что этот новый вид излучения представляет собой поток быстро летящих частиц, масса которых близка к массе атома водорода, а электрический заряд их равен нулю.

Чадвик назвал эти частицы **н е й т р о н а м и**, желая указать на их нейтральный характер.

Есть основания предполагать, что нейтрон состоит из тесной комбинации протона и электрона. Эту точку зрения развивал Резерфорд еще в 1920 г., т. е. задолго до открытия нейтронов. Вот его слова:

«С современной точки зрения нейтральный атом водорода следует рассматривать как ядро с единичным положительным зарядом, с которым связан электрон, находящийся от него на известном расстоянии... Однако является вероятным, что один электрон может комбинироваться более тесно с водородным ядром, образуя нечто вроде нейтрального дублета (двойника). Подобный атом обладал бы совершенно фантастическими свойствами. Его внешнее поле практически должно равняться нулю; вследствие этого он должен бы обладать способностью свободно проходить через материю...»

Опыты показывают, что нейтрон представляет собой весьма устойчивую частицу.

В марте 1933 г. стало известно, что Блеккету и Оккналлини в Кембридже (Англия) удалось обнаружить **п о л о ж и т е л ь н ы й э л е к т р о н**. Весьма важные соображения заставляют признать, что эти положительные частицы имеют массу, равную массе электрона, т. е. $9 \cdot 10^{-28}$ г, и положительный заряд в $1,59 \cdot 10^{-19}$ кулона. Суждение о величине заряда и массе частиц, а также о знаке заряда их делается главным образом на основании того, что эти частицы в

магнитном поле отклоняются так же, как и электроны, по в п р о т и в о п о л о ж н у ю сторону. Эти положительные электроны получили название п о з и т р о н о в.

Возникновение позитронов ставится в связь с действием космических лучей на атомы, благодаря чему атомы разрушаются с выделением различных частиц, в том числе и позитронов. В самое последнее время Блеккет и Оккиалини сообщили, что им удалось заснять явления, которые получаются в результате действия нейтронов на материю. В результате воздействия нейтронов на вещество выделяются не только электроны, но и позитроны.

Однако, каким способом получают эти позитроны, до сих пор остается неясным. Вполне возможно, что придется изменить соображения, развитые выше по поводу природы нейтрона, и признать существование двух электрических субстанций — электрона и позитрона — наравне с нейтральной частицей — нейтроном; в таком случае протон есть не что иное, как комбинация нейтрона с позитроном.

ГЛАВА V

ЧЕМУ УЧИТ РАДИЙ

Среди различных веществ, имевших огромное значение для изучения электронов, мы должны особенное внимание уделить металлу радью.

Это — одно из самых редких веществ. Мы знаем лишь немного мест на земном шаре, в которых добывается радий. Несколько таких мест находятся в пределах СССР.

Для того чтобы добыть один грамм радия, надо переработать около 8000 кг (килограммов) руды. Это указывает на то, что добыча радия сопряжена с огромными трудностями.

Что же представляет собой этот редкий металл и какими он обладает свойствами?

Радий — тяжелый металл белого цвета, но на воздухе он постепенно чернеет; он плавится при температуре в 700° . Чаще всего в лабораториях употребляется не чистый металл радий, а его соединение с газом хлором или бромом, так называемые хлористый радий или бромистый радий. Хлористый радий похож на обыкновенную поваренную соль, так что по внешнему виду их почти невозможно отличить.

Но каждая крупинка такой соли обладает удивительными свойствами. Так, например, радий испускает лучи непрерывно и неза-



П. Кюри.

висимо от каких бы то ни было внешних воздействий. И замечательно: пройдут десятки, сотни лет, а крупинка радия будет попрежнему излучать.

Для лучей радия почти нет преград; они проникают всюду: через дерево, бумагу, стекло, металлы; только слой свинца может удерживать их.

Эта способность лучей радия проникать сквозь непрозрачные предметы и была раньше других замечена учеными. Тридцать пять лет назад французский ученый Беккерель, изучая свойства урановой руды, заметил, что кусочки этой руды, положенные на фотографическую пластинку, обра-

зуют на ней пятно как будто от действия дневного света. Беккерель был поражен: откуда взялись лучи, которые могли действовать на фотографическую пластинку? Ведь пластинка была тщательнейшим образом завернута в черную бумагу для защиты от посторонних световых лучей.

Беккерель повторил опыт несколько раз и все с тем же результатом; тогда он решил, что урановая руда испускает невидимые лучи, которые способны действовать на фотографическую пластинку и способны проникать даже через черную бумагу.

Через два года после открытия Беккереля Мария Кюри-Складовская и ее муж, Пьер Кюри, опубликовали результаты своих опытов; они нашли, что существует несколько веществ, которые, подобно урановой руде, испускают такие же лучи. Но среди таких веществ особенно замечательным оказалось одно, действие лучей которого в 2 000 000 раз сильнее, чем действие урановых лучей. Кюри назвали это новое вещество радием, что в переводе на русский язык означает **лучистый**.

Новооткрытый металл оказался обладающим и другими очень интересными и важными свойствами.

Так, если зарядить легкий бумажный шарик или электроскоп и поместить вблизи небольшую крупинку хлористого или бромистого радия, то и шарик и электроскоп потеряют свои заряды. Это объясняется тем, что радий делает воздух вокруг себя проводником элек-

тричества, вследствие чего заряд, бывший на шарике или в электроскопе, сейчас же уходит в землю.

По поводу действия радия Пьер Кюри как-то сказал: «Как бы я ни был смел, я все-таки не вошел бы в комнату, в которой находится кусок радия величиной с кулак».

Действительно, действие радия на животных и человека весьма губительно. Достаточно только на четверть минуты поднести руку к крупинке радия величиной с маковое зернышко, как на руке образуется красное пятно, как от ожога; если же действие радия было более продолжительное, то краснота на коже превращается в открытую язву, вылечить которую можно только с большим трудом в течение нескольких месяцев.

Вот какой случай был с Беккерелем, который первый открыл удивительные свойства урана. Беккерель ехал из Парижа в Лондон читать лекцию о радии и вез с собою маленькую крупинку радия, запаянную в стеклянной трубочке; эта трубочка лежала у него в жилетном кармане. По приезде в Лондон он обратил внимание на то, что у него на груди против кармана, в котором лежала трубочка с радием, появилась краснота; на другой день краснота увеличилась, а через неделю с этого места сошла кожа и образовалась глубокая открытая рана, которая сильно гноилась. Несколько месяцев пришлось употребить на лечение, чтобы избавиться от такого воздействия радия.

Еще более трагический случай произошел в Париже с ученым Ренсом; он забыл в жилетном кармане трубочку с радием и умер в страшных мучениях.

От действия лучей радия листья растений желтеют и засыхают, а семена теряют свою всхожесть.

Мы не останавливаемся на многих других интересных особенностях радия. Попробуем уяснить себе причину уже перечисленных удивительных свойств этого металла.

Исследования показали, что лучи радия есть не что иное, как поток частиц, которые по каким-то причинам отрываются от радия и летят по всем направлениям с огромными скоростями. Найлено, например, что самые медленные из них движутся со скоростью в



М. Кюри-Складовская.

20 000 км/сек, а самые быстрые — со скоростью 280 000 км/сек. Если взять даже самую медленную частицу, вылетающую из радия, то она могла бы облететь вокруг земного шара по экватору в две секунды, а пролететь расстояние от Земли до Солнца (около 150 000 000 км) — за 2 часа.

И вот перед учеными встают такие вопросы: откуда берутся эти частицы и откуда берется сила, которая сообщает им громадную скорость.

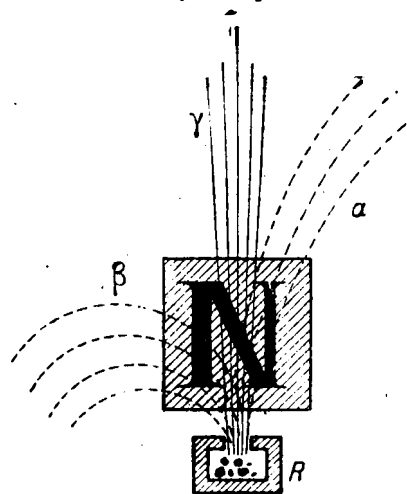


Рис. 14.

Попробуем несколько ближе познакомиться с излучением радия. Разберем подробнее, что же представляют собою его лучи. Исследование их при помощи магнитного поля приводит к установлению следующего факта: если пропустить пучок лучей, идущих от радия, через магнитное поле, то можно заметить, как пучок разделяется на три части: одна часть отклоняется в одну сторону, другая не изменяет своего направления, а третья отклоняется в сторону, противоположную первой (рис. 14).

Значит, лучи, испускаемые радием, неоднородны. Значит, они состоят из лучей трех сортов, резко отличающихся друг от друга. Изучение каждой этой составной части показало следующее: одни из этих лучей представляют собой не что иное, как катодные лучи, т. е. поток быстро движущихся электронов, их называют бета-лучами; в магнитном поле они отклоняются весьма значительно. Другие лучи радия — не что иное, как поток частиц с положительным зарядом электричества; они получили название альфа-лучей; в магнитном поле они отклоняются меньше. Наконец, третий сорт лучей, испускаемых радием, представляет собой колебания эфира, подобно световым лучам, но только частота их во много раз больше, чем у видимого света; называются они гамма-лучами.

Английский ученый Вильям Крукс сделал такой простой прибор (рис. 15А): он взял маленькую крупинку радиоактивного ве-

щества и поместил ее недалеко от картона, покрытого сернистым цинком; рассматривая через увеличительное стекло поверхность сернистого цинка, Крукс увидел, что вся она в разных местах вспыхивает яркими искорками (рис. 15B). Это вспыхивание происходит в тот момент, когда какая-нибудь альфа-частица, вылетающая из атома радия, ударяется о сернистый цинк. Таким образом Круксу удалось сосчитать, сколько отдельных альфа-частиц вылетает из радия в одну минуту или в одну секунду.

Весьма тщательным химическим исследованием другой английский ученый, Рамзай, установил, что альфа-частицы, вылетающие из радия, представляют собой не что иное, как атомы гелия¹. Когда это стало известно, встал вопрос: каким образом из радия может выделяться гелий? Дальнейшие исследования показали, что из радия получается не один гелий, а еще какой-то неизвестный газ, который был назван эманацией радия; потом было установлено, что этим дело не ограничивается: эманация радия недолговечна, — она существует всего лишь около четырех дней, но вместо нее появляется снова гелий и какое-то второе новое вещество. Было доказано совершенно точно, что

и это новое вещество, образовав в свою очередь гелий, превращается опять в какое-то третье вещество; и такая цепь превращений идет до тех пор, пока не получится свинец! На свинце все превращения заканчиваются.

Превращения радия, в результате которых выделялся гелий и сам радий в конце концов превращался в свинец, резко противо-

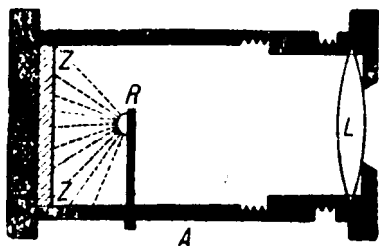


Рис. 15.

¹ Гелий — легкий газ, встречающийся в ничтожных количествах в воздухе. Им иногда наполняют дирижабли вместо водорода.

речили прочно установившимся в физике и химии взглядам о неизменяемости атомов того или иного вещества. Атом железа всегда был и остается атомом железа, точно так же как атом золота был и остается всегда таковым. Из всего опыта физики и химии было точно установлено: все то, из чего состоит Земля со всем на ней находящимся, все камни, воздух, животные и растения, даже все небесные светила, — все это построено из немногих простых веществ; эти простые вещества называются э л е м е н т а м и; их насчитывают в настоящее время всего 92. Эти 92 элемента никакими известными науке способами не удавалось разложить на еще более простые вещества.

Радий — один из элементов; он как элемент не должен разлагаться с выделением новых веществ. А между тем, как показали точные опыты Рамзая, Содди и других ученых, из радия образуется гелий и эманация, из последней — гелий и другие продукты, и весь ряд превращений радия кончается свинцом.

Радий — не единственный элемент, обладающий этими свойствами; известно около 30 элементов, обладающих подобными же свойствами (таковы, например, торий, полоний и др.). Все эти элементы принадлежат к числу самых т я ж е л ы х элементов; так, если принять массу атома водорода за единицу, то масса атома полония оказывается равной 210, радия — 226 и тория 232. И вот эта-то масса атома очевидно играет какую-то роль; ведь если из радия получается гелий и другие вещества, то это значит, что а т о м р а д и я р а з р у ш а е т с я; о н к а к б ы взрывается от неизвестных причин, распадаясь на более простые составные части. Эти простые части: альфа-частицы — положительно заряженные атомы гелия; бета-частицы — электроны, т. е. отрицательные заряды.

Таким образом группа радиоактивных элементов обнаруживает излучение положительного и отрицательного электричества. Тем самым этот факт заставляет признать, что электроны и ядра гелия, связанные с положительным зарядом, входят в состав атомов радиоактивных веществ.

Открытие, сделанное Беккерелем и продолженное Кюри и другими физиками, заставило изменить взгляд на атом; в настоящее время считают, что атом уже не представляет собой чего-либо неизменного, сплошного и однородного; атом всякого вещества — нечто сложное, состоящее из отдельных частей, причем из каждого атома можно выделить эти отдельные части.

В радии, тории, полонии эти отдельные части в виде электронов и атомов гелия выделяются сами собой.

СТРОЕНИЕ АТОМОВ

Радий был первым элементом, атом которого обнаружил явления распада. Кроме радия такое же явление было замечено и у целого ряда других так называемых радиоактивных элементов.

Какой же вывод можно сделать из этих фактов?

Вывод следующий: атомы радиоактивных веществ состоят из различных частиц, или представляющих собой электрические заряды или так или иначе связанных с зарядами. Вполне естественно, что сейчас же возник вопрос: так что же представляет собой атом? Конечно, проще всего вообразить себе атом в форме ничтожно малого сплошного шарика. Но так ли это? На этот вопрос физика в настоящее время дает уверенный ответ: нет, не так, атом не есть шарик сплошного вещества, напоминающий, например, капельку воды, взвешенную в воздухе; атом — нечто более сложное.

Прежде всего было обращено внимание на то, что электроны, излучаемые радием (бета-лучи), и электроны, появляющиеся в трубке Крукса или Рентгена, совершенно одинаковы: они несут заряд отрицательного электричества в $1,59 \cdot 10^{-19}$ кулона и имеют одинаковую массу $9 \cdot 10^{-28}$ г. Более того, каким бы способом электроны ни получались в трубке Крукса, какой бы газ ни находился в этой трубке, из какого бы металла ни был сделан катод трубки, всегда электроны, образующие катодные лучи, совершенно одинаковы.

Этим уже был сделан шаг к изучению атома: в состав всякого атома входят электроны.

Но ведь сами-то атомы не обнаруживают никакого электрического заряда. Дело объясняется весьма просто: атом ведь не состоит из одних электронов; в состав атомов входит еще что-то кроме электронов.

Мы уже говорили, что нейтральный атом водорода состоит из одного электрона и одного протона или ядра; другими словами, в состав атома водорода входит один элементарный отрицательный и один элементарный положительный заряд электричества.

Так и у других элементов; атом каждого из них состоит из более легкой части — электронов — и более тяжелой части, которую называют ядром атома. И если электроны суть отрицательные заряды электричества, то ядро должно иметь положительный заряд; лишь в таком случае весь атом в целом будет нейтральным.

Как же расположены в атоме электроны и ядро?

Проще всего представить себе атом состоящим из ядра, на поверхности которого находятся один или несколько электронов. Однако такое представление неправильно. Посмотрим, что об этом говорят опыты. Немецким ученым Ленардом был произведен такой опыт: он взял длинную круговую трубку, и против катода (отрицательного полюса) в ней он сделал окошечко, которое закрыл тонкой алюминиевой пластинкой. Когда через такую трубку проходил электрический ток, значительная часть электронов катодного пучка проходила через алюминиевое окошечко в воздух. Но в воздухе движение вылетавших электронов быстро ослабевало и в конце концов прекращалось. Почему? Очевидно потому, что электроны сталкивались с молекулами воздуха.

В настоящее время американский ученый Кулидж, повторяя опыты Ленарда, добился того, что у него электроны пролетают в воздухе расстояние около одного метра. Такой мощный поток электронов представляет чрезвычайно интересные особенности: мелкие насекомые, попавшие в этот поток, погибают немедленно; кожа на руке человека в течение секунды становится как бы обожженной; ухо кролика прожигается насквозь и т. п. На своем пути электронам, вылетевшим из трубки Кулиджа, пришлось, во-первых, проникнуть сквозь металлическую пластинку, а во-вторых, пройти значительный слой воздуха. Несомненно, не один раз летящему электрону пришлось встретиться с отдельными атомами. Удалось подсчитать, что быстро летящий электрон, пролетая один метр в воздухе при нормальном давлении, встречает на своем пути свыше 500 000 атомов! Если бы атом был сплошным шариком, если бы он состоял целиком из сплошного ядра, то несомненно, что при первом же столкновении с одним из них электрон остановился бы. Ведь атомы кислорода и азота, входящие в состав воздуха, тяжелее электрона в среднем в 30 000 раз.

Так как на пути в один метр ему встречается около 500 000 атомов, то первый атом встретится уже на расстоянии всего лишь в 0,002 мм от окошечка трубки. Значит, электрон мог бы пролететь в воздухе всего лишь 0,002 м. А между тем летит он около метра. Как же это можно объяснить?

Объяснить это странное явление можно, лишь допустив, что электрон свободно проходит сквозь атомы.

Еще больше разъяснилось строение атома после опытов Вильсона. Его опыты состояли в следующем. Известно, что в насыщенном водяными парами воздухе может появляться туман, если произвести его охлаждение. Для опыта Вильсон брал небольшую стеклянную цилиндрическую камеру, на дно которой была налита

вода, так что воздух в этой камере был насыщен водяными парами. Дно камеры можно опускать, так что объем внутренней части камеры можно увеличивать, а увеличение объема газа ведет, как известно, к его охлаждению.

Однако выпадение капелек воды (тумана) может произойти лишь в том случае, если в воздухе есть или пылинки, или электрически заряженные частицы. Воздух в камере Вильсона совершенно не содержит пыли; значит, капельки воды могут в ней образоваться лишь на частицах, заряженных электричеством. И действительно, как только в камеру вводилась крупинка радия, тотчас же (если расширить воздух, находящийся в камере) по направлению от места, где находилась эта крупинка, появлялись туманные нити, состоящие из ряда водяных капелек (рис. 16).

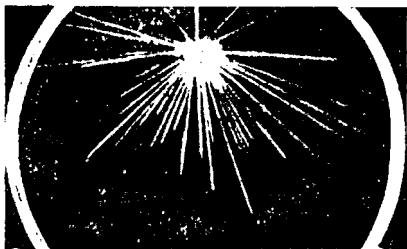


Рис. 16.

Вильсон производил опыты с альфа-частицами. Альфа-частицы, как мы знаем, суть положительно заряженные атомы гелия. Альфа-частицы движутся со скоростью около $20\,000$ км/сек; скорость эта чрезвычайно велика; двигаясь с такой скоростью, атом гелия мог бы долететь до Солнца в 2 часа, а до Луны всего лишь в 20 секунд. Альфа-частица тяжелее электрона почти в 7500 раз; поэтому на своем пути она обладает значительной кинетической энергией, может разбивать встречные нейтральные атомы, выбивая из них электроны. А раз из нейтрального атома выбит электрон, то такой атом оказывается заряженным положительно. Таким образом за движущейся альфа-частицей остается след в виде заряженных частиц, на которых и образуются капельки воды. Все эти капельки воды поэтому располагаются по пути движения альфа-частицы и представляют нити тумана, хорошо заметные на фотографиях Вильсона.

К чему же приводят эти наблюдения? Прежде всего Вильсон измерил длину этих нитей; оказалось, что в воздухе эти нити имеют длину в лучшем случае около $7,5$ см; это значит, что альфа-частица, выброшенная из радия, может пролететь в воздухе не больше $7,5$ см. На своем пути она, без сомнения, встречает отдельные атомы, входящие в состав воздуха; всего на своем пути она может встретить около $30\,000$. Как показывают фотографии, большинство

путей альфа-частиц прямолинейны, некоторые имеют на конце излом (Рис. 17).

Последнее можно объяснить следующим образом: альфа-частицы без задержки проходят насквозь через встречающиеся им по пути



Рис. 17.

атомы кислорода и азота; это возможно лишь при той громадной скорости, которой они обладают; но очевидно, что во встречных атомах есть и такие места, сквозь которые альфа-частицы не могут проникнуть, и им приходится изменить направление своего движения. Так как альфа-частица имеет положительный заряд, то отклонение ее происходит по видимому при встрече с положительной

частью встречного атома. Таким положительным зарядом обладает ядро атома. Значит, альфа-частицы, пролетая сквозь встречные атомы кислорода или азота, изменяют направление своего пути, встретившись с ядром этих атомов.

Английский физик Резерфорд, измеряя подобные отклонения альфа-частиц, пришел к заключению, что ядро атома может занимать лишь ничтожнейшую часть всего объема атома; по его подсчетам оказалось, что оно никак не должно быть больше одной триллионной (10^{-12}) части всего объема атома.

Итак, атом всякого вещества состоит из одного или нескольких электронов и ядра; установлено, что размеры и электронов и ядра ничтожно малы по сравнению с размерами атома в целом.

Так, вычислено, что радиус атома водорода равен $0,5 \cdot 10^{-8}$ см, радиус электрона равен $1,87 \cdot 10^{-13}$ см, т. е. он примерно в 25 000 раз меньше радиуса атома водорода.

Вычисление же радиуса протона, т. е. ядра атома водорода, дает величину еще в 2000 раз меньшую, чем радиус электрона, т. е. около 10^{-16} см.

Чтобы конкретнее представить себе размеры протона, электрона и атома, представим себе, что атом водорода увеличен до размеров земного шара (радиус 6000 км), т. е. приблизительно в 10^{17} раз. Увеличим и радиусы электрона и протона во столько же раз; в таком случае центр нашей увеличенной системы занимало бы ядро атома (протон) радиусом всего лишь в 12 см, а на расстоянии 6000 км от него находился бы электрон, радиус которого был бы 220 м.

Итак, весь атом был бы с земной шар, а то, что его составляет

(электрон и протон), были бы телами столь ничтожных размеров, что они составляли бы исчезающе малую часть атома.

Атом снова представляет собой загадку. Вся его масса, которую практически можно считать сосредоточенной в ядре атома, занимает лишь ничтожный объем по сравнению с атомом в целом.

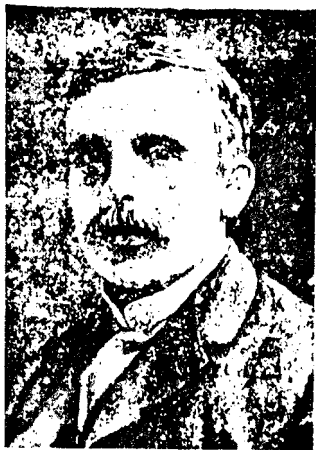
Как же расположены электроны и ядро в атоме? Раз электроны заряжены отрицательным электричеством, а ядро положительным, то само собой понятно, что они друг к другу притягиваются, и вследствие этого они должны бы сблизиться до соприкосновения. Но в таком случае

размер каждого атома был бы равен размерам электронов, сложенным с размерами ядра. На самом же деле размеры атома в сотни тысяч раз больше.

Однако это затруднение легко устранимо, если допустить, что электроны не остаются внутри атома неподвижными, а все время движутся. Возьмем камешек, привяжем его на нитку и станем вращать его. При этом мы чувствуем, как натягивается нить, и мы тянем камень к себе; однако он не падает. Такое явление возможно лишь при движении одного тела вокруг другого. Всем известно, что Луна притягивается Землей, а на нее не падает. Почему? Потому что она о б р а щ а е т с я вокруг Земли. Всем также известно, что Земля притягивается Солнцем, а на него не падает. Почему? Потому что и Земля обращается вокруг Солнца.

Так и внутри атома: электроны, которые представляют более легкую часть атома, обращаются вокруг более тяжелой его части, т. е. около ядра. При таком движении электрон должен описывать сравнительно огромный путь вокруг ядра. Вспомним то, что мы говорили о расстояниях между электронами и ядром атома водорода, о размерах этих последних; если представим себе атом водорода, увеличенным до размеров земного шара, то главная масса атома — ядро — должно иметь размеры небольшого шара радиусом в 12 с.м., находящегося в центре этого шара, а электрон радиусом в 220 м будет вращаться вокруг ядра с огромной скоростью по окружности с радиусом в 6060 км.

Так представляет физика в настоящее время строение пр о б л е м н о г о из атомов — атома водорода.



Э. Резерфорд.

Что касается других атомов, то имеются вполне точные данные, которые устанавливают, что у атомов разных веществ как коли-

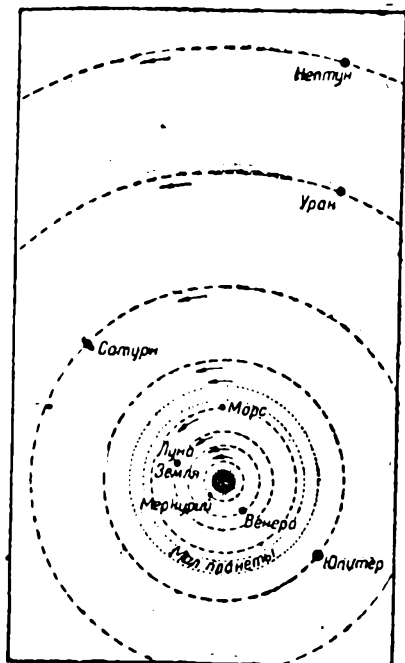


Рис. 18.

круг ничтожно малого по размерам ядра, но обладающего почти всей массой атома, движутся электроны, описывая несколько вытянутые круги (эллипсы). Атом по своему устройству напоминает солнечную систему. Солнце можно уподобить ядру, а планеты — электронам. Для сравнения картины солнечной системы с картиной строения атома мы помещаем таблицы, изображающие пути планет вокруг Солнца (рис. 18) и пути электронов вокруг ядра у натрия (рис. 19). Рассматривая эти чертежи, можно сказать, что сходство есть, но атомы

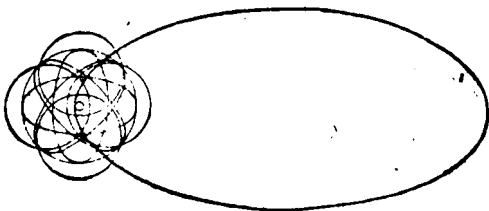


Рис. 19.

чество электронов, так и заряды ядра различны, причем установлено вполне точно, что число электронов и величина заряда ядра постепенно увеличиваются по мере увеличения атомного веса. Так, у водорода один электрон движется вокруг ядра, имеющего один положительный электрический заряд; у газа гелия — два электрона, а ядро обладает двумя положительными зарядами; у металла лития — три электрона и т. д. У кислорода имеется 8 электронов, у железа — 26, у меди — 29; наконец из тяжелых атомов атом радия имеет 88, а атом урана — 92 электрона.

Расположение электронов вокруг ядра у многих атомов также выяснено. Во-

устроены сложнее, чем солнечная система! Остается еще один весьма важный вопрос: из чего и как устроены ядра различных атомов?

Несмотря на большое число исследований, вопрос о строении ядра атома еще далек от разрешения.

В 1919 г. английский ученый Резерфорд произвел расщепление ядер атомов азота, направляя на них альфа-частицы. Мы указывали уже, что альфа-частицы обладают весьма большой скоростью — до 20 000 км/сек, причем в воздухе эти частицы могут пройти путь приблизительно в 7 см. Если же эти альфа-частицы проходят через водород, то их путь достигает 28 см. Таким образом если же путь альфа-частиц идет через воздух, а на расстоянии 7 см (или ближе) — экран, покрытый сернистым цинком, то можно в микроскоп заметить мерцания на экране, происходящие от ударов альфа-частиц об экран. Если же экран поместить на большем расстоянии, то мерцания не должны бы иметь места.

Однако тщательные наблюдения показали иное. В камере (рис. 20), наполненной сухим и совершенно чистым

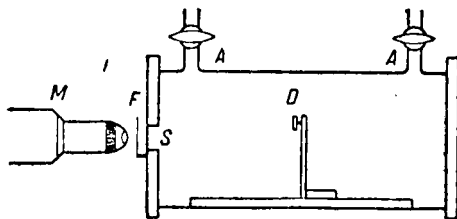


Рис. 20.

а з о т о м, в котором, таким образом, совершенно исключено присутствие водорода, было обнаружено, что в отдельных случаях наблюдается пробег частиц в 28 см и даже более. Такой пробег мог быть лишь у атомов водорода. Но камера и азот в ней были предварительно тщательно очищены от водорода. И все же в камере появлялся всякий раз водород. Правда, можно было заметить появление лишь о т д е л ь н ы х частиц, ибо мерцания сернистого цинка были редки.

Объяснение этим фактам было дано такое. Летящая альфа-частица при п р я м о м столкновении с ядром атома азота разбивает его на части, среди которых оказываются ядра атома водорода, т. е. протоны. Редкость же таких попаданий объясняется тем, что п р я м о е столкновение альфа-частиц с ядром вообще очень мало вероятно; так, найдено, что из 300 000 альфа-частиц, встречающихся на протяжении 1 см по 10 000 атомов азота каждая, всего лишь о д н а встретит ядро атома прямым ударом «в лоб».

Резерфорду удалось произвести разрушение ядер у атомов ряда других элементов. Так, им были разрушены ядра атомов бора,

фтора, алюминия, натрия, фосфора. При этом оказалось, что во всех случаях продуктом разрушения ядра оказывались **протоны**.

В последнее время работы по разрушению ядер атомов расширились. Так, весной 1932 г. в Англии, а осенью того же года в СССР были сделаны весьма важные работы в этом направлении. В Харькове группой советских ученых — К. Д. Синельниковым, А. И. Лейпунским, А. К. Вальтером и Г. Д. Латышевым было произведено разрушение ядра атома лития.

Разрушение было произведено бомбардировкой ядрами атома водорода (протонами), ускоренными в разрядной трубке.

Из всех этих опытов можно сделать один и тот же вывод: **протоны входят в состав ядра**.

Но здесь возникает затруднение: ведь протоны суть положительные заряды, а одноименные заряды отталкиваются. Значит, если несколько протонов входят в состав ядра атома, то они в нем чем-то должны быть связаны. Чем же могут быть связаны две частицы, заряженные положительно и потому стремящиеся оттолкнуться? Только частицами, заряженными противоположным электричеством, т. е. заряженными отрицательно. Но единственные отрицательные частицы внутри атома суть электроны.

Электроны, таким образом, составляют не только внешнюю оболочку атома, но они входят и в состав атомных ядер разных веществ и, как цемент, скрепляют входящие в ядро протоны.

Если это так, то атомы различных веществ отличаются друг от друга лишь тем, что разное количество протонов и электронов входит в ядра атомов разных веществ.

Такое заключение будет иметь достаточное основание, если это подтвердится и другими количественными расчетами.

Примем массу протона за единицу, тогда атомный вес определится числом протонов, входящих в ядро всякого атома; так, например, у гелия (его атомный вес 4) в состав ядра должно входить 4 протона; или у кислорода ядро атома должно состоять из 16 протонов и т. д. Обратим, далее, внимание на заряд ядра атома. Определение таких зарядов показывает, что, например, ядро атома гелия имеет двойной положительный элементарный заряд ($2 \cdot 1,59 \cdot 10^{-19}$ кулона), а ядро атома кислорода — восьмерной ($8 \cdot 1,59 \cdot 10^{-19}$ кулона) заряд.

Сравнение числа протонов, входящих в ядро того и другого атома, с зарядом, который связан с соответствующим ядром, дает возможность заключить, что если в ядро атома гелия входит четыре протона, то они должны быть связаны двумя электронами, чтобы ядро атома гелия имело двойной положительный заряд.

Что касается ядра атома кислорода, то в его состав входит 16 протонов, а заряд его ядра восьмерной; значит, 8 положительных его зарядов нейтрализованы 8 электронами, входящими в ядро.

Упаковка протонов в группы по четыре при помощи двух электронов оказывается весьма прочной. Такими «пачками» протонов, связанных электронами, как мы видели выше, являются альфа-частицы или ядра атома гелия.

Остановимся на этом несколько подробнее, так как этот факт имеет значение не только для атома гелия, но и для других элементов.

Выше мы принимали атомный вес водорода за единицу, а атомные веса других элементов выражали целыми числами. Однако точное измерение атомных весов дает иную картину. В химии при определении атомных весов исходят из атомного веса кислорода и считают его равным 16; таким образом $\frac{1}{16}$ атомного веса кислорода есть единица атомного веса. Пользуясь этой единицей, мы получаем атомные веса: для водорода — 1,00778; для гелия — 4,00216; для азота — 14,008 и т. д.

Если в состав ядра гелия входит 4 протона, то атомный вес гелия должен быть $1,00778 \times 4 = 4,03112$; у азота, в состав ядра которого должно входить 14 протонов, атомный вес должен быть $1,00778 \times 14 = 14,10892$.

Мы видим, что в этих случаях атомный вес элемента меньше суммы весов протонов, входящих в его ядро. Наблюдаемое в этом случае явление получило название «дефекта массы».

Дефект массы объясняют тем, что в ядре протоны и электроны располагаются весьма плотно.

На основании теории относительности, разработанной немецким ученым Эйнштейном, можно утверждать, что масса, потерянная при упаковке, эквивалентна некоторому количеству выделенной энергии. Эйнштейн вывел следующую формулу зависимости между массой и энергией:

$$E = mc^2,$$

где E — количество энергии, выраженное в эргах, m — масса в граммах и c — скорость света в сантиметрах в секунду ($3 \cdot 10^{10}$ см/сек).

Выходит так, что при образовании ядер из протонов некоторое количество энергии, освобождающееся в результате уменьшения массы, должно выделяться. При этом, чем больше выделяется

энергии, чем больше потеря массы, тем плотнее упакованы заряды в ядре, тем крепче ядро.

Сделаем подсчет, например, для атома гелия.

Ядро его состоит из 4 протонов и 2 электронов. Так как у нейтрального атома имеется сверх того 2 внеядерных электрона, то в состав нейтрального атома гелия входит 4 протона и 4 электрона, т. е. в состав атома гелия входит 4 атома водорода. Мы уже вычисляли атомный вес гелия; он должен быть 4,03112, а по опытному определению он равен 4,00216. Стало быть, при образовании атома гелия происходит уменьшение массы на $4,03112 - 4,00216 = 0,02896$.

Другими словами, из 4,03112 г водорода может образоваться 4,00216 г гелия; потеря при этом будет равна 0,02896 г.

Подставляя эту величину в формулу Эйнштейна, найдем, какое количество энергии должно выделяться при таком образовании: $E = 0,02896 \cdot (3 \cdot 10^{10})^2 = 0,02896 \cdot 9 \cdot 10^{20} = 0,26 \cdot 10^{20}$ эрга, что соответствует выделению $62,4 \cdot 10^{10}$ малых калорий тепла; интересно отметить, что такое количество тепла выделяется при сгорании 78 тонн, т. е. 5 вагонов каменного угля!

Так как два внешних электрона в атоме гелия находятся далеко от ядра, то можно утверждать, что все вычисленное количество энергии выделяется при образовании ядра атома гелия.

Вполне понятно, что при разбивании ядра атома гелия на составляющие его протоны, необходимо указанную выше энергию затратить. Это объясняет известный факт весьма большой прочности ядер атомов гелия, которые при известных условиях могут выполнять роль с н а р я д о в, употребляемых для атомной бомбардировки.

ГЛАВА VII

ЭЛЕКТРОНЫ В АТОМАХ

В 1869 г. русский ученый Д. И. Менделеев, изучая свойства различных элементов, открыл свой знаменитый периодический закон. Сущность этого открытия заключается в следующем: если расположить все известные химические элементы, начиная от водорода с атомным весом, равным 1¹, и кончая ураном с атомным весом 238, в порядке постепенного возрастания их атомных весов, то химические и физические свойства элементов п е р и о д и

¹ Мы здесь даем атомные веса округленными.

чески повторяются. Так, например, если взять такие весьма сходные между собой элементы, как литий, калий и натрий, то окажется, что в ряду элементов, расположенных в порядке возрастания атомных весов, они занимают следующие места: литий 3-е, натрий 11-е, калий 19-е, другими словами, свойства физические и химические повторяются у каждого из этих элементов через 8 номеров; подобное же явление можно видеть на другой группе элементов, состоящей из фтора (9-е место) и хлора (17-е место) или у магния (12-е место) и кальция (20-е место). Из этого видно, что место, которое занимает каждый элемент в ряду других элементов, определяется и атомным весом и физико-химическими свойствами.



Д. И. Менделеев.

Кроме того сравнение зарядов, которыми обладают ядра различных атомов (см. выше, например, гелий $+4$, кислород $+8$), показывает чрезвычайно важный факт: избыточный положительный заряд ядра атома каждого элемента численно равен порядковому номеру, под которым этот элемент стоит в периодическом ряду Менделеева.

Но мы видели выше, что число избыточных положительных зарядов ядра в нейтральном атоме требует наличия такого же числа отрицательных зарядов, т. е. электронов, находящихся вне ядра; эти-то электроны и движутся вокруг ядра атома, образуя внешнюю электронную оболочку атома. Число этих внешних электронов, следовательно, равно порядковому номеру данного элемента. Для обзора наиболее распространенных элементов мы приводим на стр. 40 таблицу (атомные веса округлены до целых чисел).

Остановимся на некоторых элементах этой таблицы. Возьмем железо; у него ядро состоит из 56 протонов, соединенных между собой 30 электронами; вокруг такого ядра вращается, следовательно, 26 электронов.

А у радия атом еще сложнее: у него в состав ядра входит 226 протонов и 138 электронов; вокруг же ядра движется целый рой из 88 электронов. Таким образом атом радия весьма сложен; он со-

Название элемента	Химический знак	Порядковый номер в периодическом ряду Менделеева	Атомный вес	Число протонов в ядре	Избыточный положительный заряд ядра	Число электронов в ядре	Число внешних электронов
Водород	H	1	1	1	1	0	1
Гелий	He	2	4	4	2	2	2
Литий	Li	3	7	7	3	4	3
Углерод	C	6	12	12	6	6	6
Азот	N	7	14	14	7	7	7
Кислород	O	8	16	16	8	8	8
Натрий	Na	11	23	23	11	12	11
Алюминий	Al	13	27	27	13	14	13
Сера	S	16	32	32	16	16	16
Калий	K	19	39	39	19	20	19
Железо	Fe	26	56	56	26	30	26
Медь	Cu	29	63	63	29	34	29
Серебро	Ag	47	107	107	47	60	47
Ртуть	Hg	80	202	202	80	122	80
Свинец	Pb	82	207	207	82	125	82
Радий	Ra	88	226	226	88	138	88
Уран	U	92	238	238	92	146	92

стоит из 452 частей. Насколько же проще атом водорода, состоящий всего лишь из двух частей!

Теперь остается разобрать, как расположены внешние электроны, по каким путям они движутся?

Напомним, что у простейшего атома водорода один электрон вращается вокруг одного протона (рис. 21). Если от атома во-

дорода оторвать электрон, то останется положительно заряженное ядро.

Следующий элемент — гелий — имеет ядро с двойным положительным зарядом и, следовательно, с двумя

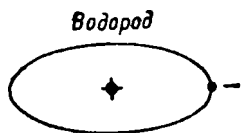


Рис. 21.

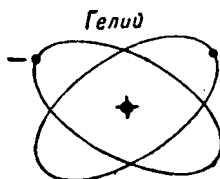


Рис. 22.

внешними электронами. Химия определяет гелий как инертный элемент, т. е. как элемент не вступающий в соединения с другими элементами; это свидетель-

ствуем о том, что атом гелия представляет собой вполне законченную систему. Два его электрона движутся по двум одинаковым орбитам, наклоненным друг к другу под некоторым углом, как это показано на рис. 22.

Третий элемент — л и т и й — имеет тройной избыточный положительный заряд и три внешних электрона. Можно было бы предположить, что эти три электрона движутся по одинаковым орбитам, как у гелия. Однако это не так. Прежде всего объем атома лития превосходит объем атома гелия; затем литий — металл, и, как всякий металл, он при электролизе осаждается на катоде; следовательно, атом лития легко становится положительно заряженным, что связано с потерей атомом электронов; возможно предположить, что один из трех электронов атома гелия удален

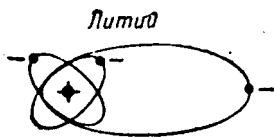


Рис. 23.

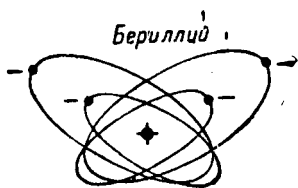


Рис. 24.

от ядра больше двух остальных и потому слабо удерживается ядром; вследствие этого он легко отделяется от атома. Подтверждением такого заключения является следующее: из химии известно, что литий — элемент о д н о в а л е н т н ы й, т. е. в химических соединениях может замещать водород, обладающий всего лишь одним электроном. Итак, можно предположить, что атом лития состоит из ядра с тройным избыточным зарядом, вокруг которого движутся два электрона по орбитам, как и у гелия, наклоненным одна к другой, а третий электрон вращается по внешней, большего диаметра, орбите (рис. 23).

Четвертый элемент — б е р и л л и й — имеет четыре избыточных положительных заряда в ядре и четыре внешних электрона; бериллий — металл, причем он является элементом д в у х в а л е н т н ы м, т. е. в химических соединениях может замещать собой два атома водорода; все это свидетельствует о том, что в атоме бериллия мы имеем два электрона ближайших к ядру, движущихся по наклонным орбитам типа гелия, и два электрона, движущихся по орбитам более далеким (рис. 24).

Так, переходя от одного элемента периодической системы Менделеева к следующему и принимая во внимание электрические,

химические и другие свойства атомов, можно сделать построение моделей атомов б о р а, у г л е р о д а и т. д. Но вот мы доходим до десятого элемента — н е о н а. Это, подобно гелию, инертный газ, не вступающий в соединения с другими элементами. Значит его атом «насыщен» электронами. А так как их десять, из которых два электрона составляют «гелиеву группу», то надо предположить, что у неона электроны расположены в двух группах: первая «гелиевая», состоящая из двух электронов, и вторая, состоящая из восьми электронов.

Следующий, одиннадцатый по порядку, элемент, металл н а т р и й, одновалентный, т. е. ведет себя подобно литию и водороду, и потому у него должен быть один электрон, слабо связанный с ядром атома. Таким образом можно предположить, что атом натрия состоит из ядра, вокруг которого движутся в первом «гелиевом» слое два электрона, во втором — восемь электронов, в третьем — один электрон.

Так, принимая во внимание электрические и химические свойства атомов, удалось подметить закономерность в архитектуре атома каждого элемента.

ГЛАВА VIII

ОБ ЭЛЕКТРОННОМ ТОКЕ

Наше знакомство с электронами и протонами привело нас к необходимости познакомиться со строением атома и убедило нас, что то многообразие атомов, которое мы имеем, в основном сводится к первичным элементам материи — электронам и протонам. Это дает нам возможность объяснить целый ряд явлений, которые без учения об электронах и протонах оставались необъяснимыми.

Мы остановимся здесь на всем известном явлении электрического тока.

Уже само название этого явления — т о к — говорит о том, что что-то течет. Мы видели выше, что поток электронов, составляющий катодный пучок, отклоняется в магнитном поле так же, как и проводник с током. А так как катодный пучок представляет собой поток электронов, то естественно сделать заключение, что электрический ток в проводнике есть не что иное, как поток электронов.

Доказательств этого положения мы находим в настоящее время довольно много. Остановимся на одном из них. Два раза — в 1916 и 1923 гг. — Толменом был произведен следующий опыт.

На большой цилиндр намотана изолированная проволока, концы которой отведены на весьма чувствительный гальванометр. При вращении цилиндра с постоянной угловой скоростью никакого отклонения стрелки гальванометра не замечается, что свидетельствует об отсутствии тока в цепи катушка—гальванометр. Но если быстро затормозить катушку, то в этот момент гальванометр обнаруживает ток. Никаких обычных источников тока здесь нет. Ток здесь возбуждается торможением.

Действительно, представим себе пассажиров трамвая, стоящих в проходе вагона. До тех пор, пока вагон движется равномерно, все пассажиры по отношению к вагону находятся в покое. Но вот вагон быстро затормозили. Пассажиры падают вперед, а если дверь открыта, выскакивают даже на площадку. Итак, при быстром торможении катушки с проволокой, в ней электрические заряды продолжают еще прежнее движение по инерции через гальванометр, отклоняя его стрелку.

Если бы в этом движении участвовали и положительные заряды, и отрицательные, то и те и другие, получив движение в одном направлении, не создали бы тока, обнаруживаемого гальванометром, так как в таком случае переносились равные количества противоположных электричеств.

Значит, в этом случае двигаются по проводнику или электроны, или протоны. Мы уже знаем, что протоны входят в ядра атомов, электроны же входят не только в ядра атомов, но и в наружные, внеядерные оболочки; при этом у металлов есть несколько электронов, наиболее удаленных от ядра (рис. 19, 23, 24) и потому слабее других связанных с ним. Все это говорит о том, что при внезапной остановке катушки роль пассажиров в трамвае должны выполнить именно электроны. И действительно, стрелка гальванометра отклоняется так, как если бы по проводнику шел поток отрицательных частиц.

Более того, в опытах Толмена был измерен и удельный заряд тех частиц, которые составляли ток, вызванный торможением. Эти измерения показали, что удельный заряд частиц равен удельному заряду электронов.

Итак, прямыми опытами с определенными количественными результатами было показано, что электрический ток в проводнике есть не что иное, как ток электронный.

Естественно встает вопрос: откуда берутся электроны, которые движутся по проводнику?

Прежде всего дадим представление о грандиозности армии электронов, составляющих поток в проводнике. Возьмем для примера обыкновенную электрическую лампочку. Через волосок этой

лампочки проходит ток силой 0,25 ампера. Сколько электронов проходит через сечение волоска лампочки в секунду?

На этот вопрос ответить не трудно. Произведем простой расчет. 0,25 ампера — это 0,25 кулона в секунду. Величина заряда электрона нам известна, она равна $1,59 \cdot 10^{-19}$ кулона. Итак, число электронов в 0,25 кулона равно $\frac{0,25}{1,59 \cdot 10^{-19}} = 16 \cdot 10^{17}$, т. е.

через сечение волоска лампочки в течение одной секунды проходит 1600 квадрильонов электронов!

Если же в проводнике течет ток силой в один ампер, то число электронов, проходящее в одну секунду через поперечное сечение этого проводника, равно 6400 квадрильонам!

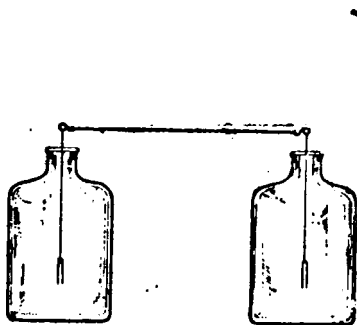


Рис. 25.

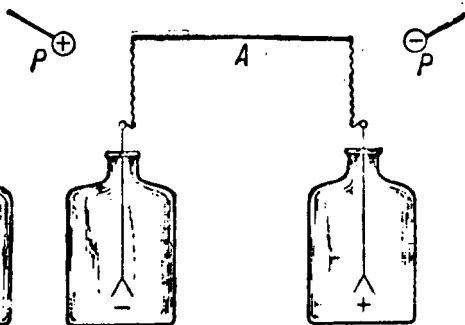


Рис. 26.

Чтобы представить себе такое количество электронов, допустим, что мы выпускаем из некоторого источника по одному миллиону электронов (10^6) в секунду; тогда в год, содержащий круглым счетом 30 миллионов секунд, мы сумели бы выпустить $10^6 \cdot 30 \cdot 10^6 = 3 \cdot 10^{13}$ электронов (30 триллионов). Таким образом 6000 квадрильонов электронов (т. е. $6 \cdot 10^{18}$) можно выпустить за $\frac{6 \cdot 10^{18}}{3 \cdot 10^{13}} = 2 \cdot 10^5 = 200\,000$ лет.

Каждый источник электричества можно уподобить насосу, который перекачивает электроны по проводнику. При этом нужно иметь в виду, что и в самом проводнике имеется огромное количество электронов, причем некоторая часть их весьма слабо связана с ядрами атомов проводника. Возьмем металлический стержень и соединим его концы с двумя электроскопами (рис. 25). Конечно, электроскопы никаких зарядов не покажут.

Теперь поместим этот стержень между двумя шариками электрической машины (рис. 26). При вращении дисков машины шарики ее заряжаются, один положительно, а другой отрицательно; вследствие этого между ними возникает электрическое силовое поле. И вот мы замечаем, что в электроскопах листочки расходятся, что указывает на появление зарядов на концах стержня. Если разрядить шарики машины, то листочки электроскопов опадут. Если же во время работы машины разъединить стержень и электроскопы, то на последних можно обнаружить противоположные заряды. Оказывается, что на том электроскопе, который был соединен с концом стержня, обращенным к отрицательному шарика машины, появляется положительный заряд, а на другом — противоположный, т. е. отрицательный.

Чем это можно объяснить? Заряды шариков действуют на заряды атомов, из которых состоит металлический стержень; между этими зарядами происходит взаимодействие по закону: противоположные по знаку заряды притягиваются, а одинаковые отталкиваются.

Значит, положительный шарик машины притягивает электроны атомов стержня, а отрицательный шарик — отталкивает их. Так как среди электронов имеется большое число слабо связанных со своими ядрами, то они станут перемещаться к концу стержня, обращенному к положительному шарика. А ядра как наиболее тяжелые части атома останутся на своих местах. Таким образом получится, что с конца стержня, помещенного около отрицательного шарика, электроны уйдут на другой конец стержня — к положительному шарика; и на первом конце будет избыточный положительный заряд, а на втором — отрицательный.

Какое бы слабое поле между шариками электрической машины мы ни создавали, всегда на концах проводника можно обнаружить присутствие противоположных зарядов. Значит, наиболее удаленные электроны в атомах металлов столь слабо связаны с ядрами, что достаточно весьма небольшого воздействия на них, чтобы они стали перемещаться в том или другом направлении; мы видели, что в опытах Толмена имело место то же явление.

Наблюдение за движением наиболее удаленных от ядра электронов позволило некоторым исследователям считать, что эти электроны в металле вообще свободны, т. е. не связаны с атомами. С этой точки зрения «свободные электроны» движутся среди атомов или молекул проводника беспорядочно. Такое беспорядочное движение электронов в проводнике уподобляется движению молекул в любом газе, которое тоже имеет беспорядочный характер. Это подобие явлений дает право ввести понятие так называемого

«электронного газа» и применить к движению электронов законы, выведенные для газов. Например, на основании этого сделаны расчеты средней скорости хаотического движения электронов в проводниках; оказалось, что средняя скорость хаотического движения электронов в проводнике при температуре 0° равна 110 км/сек.

Представление об «электронном газе» в проводниках позволило объяснить одно чрезвычайно важное физическое явление.

Мы употребляем различные металлы в качестве материала для проводов, подводящих ток; мы говорим, что металлы — х о р о ш и е п р о в о д н и к и э л е к т р и ч е с т в а. Из металлов наилучшей проводимостью электричества обладают серебро и медь.

Мы знаем кроме того, что металлы являются наилучшими проводниками тепла. На первом месте по теплопроводности должны быть поставлены те же серебро и медь.

Теплопроводность и электропроводность оказываются такими свойствами, которые вытекают очевидно из одинаковости того агента, которым и та и другая осуществляется. Но мы знаем, что электропроводность осуществляется наличием движущихся в проводнике электронов. Приходится допустить, что и теплопроводность в металлах определяется наличием свободных электронов.

Предположим, что мы нагреваем один конец металлического стержня. Подобно тому, как в газе повышение его температуры вызывает увеличение скорости движения его молекул, так и в проводнике, на основании представления об электронном газе, мы можем предположить, что свободные электроны более нагретого конца будут обладать большей скоростью.

Эти электроны, сталкиваясь с атомами тела, а также с соседними более медленными электронами, увеличивают скорость их движения и тем самым повышают температуру тела в частях, прилегающих к нагреваемому концу проводника. Так легко подвижные электроны металлических тел передают тепло по проводнику.

Данное объяснение теплопроводности металлов находит себе подтверждение в следующем.

Если мы будем поддерживать концы проводника при разной температуре, то, согласно данному выше объяснению, в проводнике возникнет перенос тепла от нагретого конца к холодному, причем этот перенос будет осуществляться электронами, движущимися от нагретого конца к холодному. Это значит, что в этом случае мы должны обнаружить электрический ток между двумя концами проводника, поддерживаемыми при разной температуре. Действительно, английскому ученому Вильяму Томсону удалось поставить опыт, в котором можно было обнаружить следующее:

если пропустить электрический ток через металлический проводник, концы которого поддерживаются при разных температурах, то такое прохождение тока, в зависимости от его напряжения, сопровождается добавочным выделением или поглощением тепла сверх тепла, выделяемого по закону Джоуля-Ленца¹.

Томсон брал металлический проводник, который проходил через три ванны с водой (рис. 27); средняя ванна содержала в себе жидкость с высокой температурой, крайние — холодную воду. Если пустить ток, как указано на рисунке, т. е. слева направо, то электроны, составляющие этот ток, будут двигаться справа налево; тогда в той части проводника, которая находится между правым сосудом и средним, электроны будут двигаться навстречу электронам теплового тока.

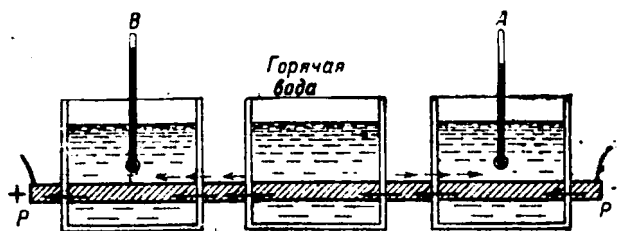


Рис. 27.

В другой половине цепи — между средним и левым сосудами — электроны электрического тока будут двигаться в том же направлении, как и электроны теплового тока. В большинстве случаев металлы в первой части цепи (термометр *A*) обнаруживают некоторое охлаждение, а в другой части цепи (термометр *B*) обнаруживают более сильное нагревание. В этом случае тепло как бы переносится током из одной части цепи в другую.

Заметим в заключение, что разобранный нами представление о «свободных» электронах и «электронном газе» есть лишь первая слабая попытка нарисовать картину того, что происходит в проводниках с точки зрения учения об электронах.

Мы показали, что в некоторых случаях это представление удовлетворительно объясняет ряд явлений. Однако в другом ряде случаев это представление оказывается совершенно бессильным объяснить имеющиеся факты; более того, выводы, делаемые из этого представления, стоят в резком противоречии с опытными данными.

¹ См. словарь — Закон Джоуля Ленца.

Поэтому мы не имеем права считать, что представление об электронном газе отлилось уже в вполне оформившуюся физическую теорию.

ГЛАВА IX

ТЕРМОЭЛЕКТРОНЫ И ФОТОЭЛЕКТРОНЫ

Мы видели выше, что свободные электроны в своем хаотическом движении обладают огромной скоростью в 110 км/сек при 0° . Кажется бы, что свободные электроны должны улетать из проводника, и тогда всякий проводник всегда имел бы положительный заряд. Но этого не наблюдается. Почему же свободные электроны не улетают из проводника? Ведь они, во-первых, весьма слабо связаны с атомами, а во-вторых, обладают значительной кинетической энергией.

Нужно различать условия движения «свободного» электрона, когда он находится в н у т р и проводника и когда он находится в н е его. В первом случае электрон находится м е ж д у положительно заряженными атомами проводника; притяжение электрона заряженными атомами, находящимися с о в с е х с т о р о н, не отзывается в конечном счете на свободе его движения. Не то при выходе электрона за пределы проводника; в этом случае заряженные атомы действуют на электрон в одном направлении: они его притягивают, стремясь вернуть его внутрь проводника. В силу этого в непосредственной близости к поверхности проводника образуется слой, состоящий из электронов, вылетевших из металла, но удерживаемых действием положительных зарядов атомов.

Значит, если какой-нибудь электрон попытается вырваться из металла, то ему придется преодолеть притяжение положительных атомов проводника и отталкивание слоя электронов, создающих так называемую «электронную атмосферу» у поверхности проводника.

Сравнение, хотя и неполное, можно провести на следующем. Представим себе, что мы бросили камень вверх; он поднимется на некоторую высоту, а затем упадет обратно. Притяжение Земли можно уподобить в этом примере притяжению электрона заряженными атомами тела; нехватает лишь аналогии отталкивающему действию «электронной атмосферы».

Если выстрелить пулей, то она поднимется на большую высоту, но все-таки вернется обратно.

Однако, если дать телу весьма большую начальную скорость (около 11 км/сек), то оно обратно на землю не вернется, а уйдет в мировое пространство. Следовательно, при известной величине скорости тело будет обладать столь большой кинетической энергией, что последняя преодолет притяжение Земли.

Подобно этому очевидно и электрон в проводнике должен обладать некоторым определенным запасом кинетической энергии, чтобы преодолеть сопротивления в пограничных слоях металла.

Так как кинетическая энергия электронов растет с повышением температуры проводника, то вполне понятно, что при накаливании проводника до подходящей температуры электроны станут вылетать из него, преодолевая сопротивления в пограничном слое. Это мы и наблюдаем в действительности. Вылетающие из накаленного проводника электроны получили название **термоэлектронов**. Их выделение было открыто задолго до введения самого понятия «электрон».

Рис. 28.

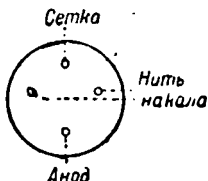
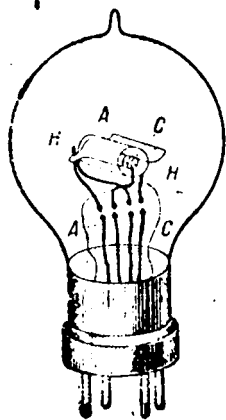
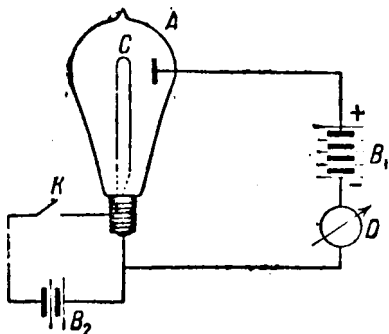


Рис. 29.

В электрической лампочке сбоку впаяна пластинка; она помещена на некотором расстоянии от волоска лампочки. Если присоединить к этой пластинке анод батареи (рис. 28), а катод присоединить через гальванометр к проводу, соединенному с волоском лампочки, то в этой цепи не будет тока: стрелка гальванометра будет

неподвижна: это и понятно: ведь между волоском и пластинкой — пустота. Но если накалить волосок, пропустив через него ток, то сейчас же стрелка гальванометра отклонится, показывая присутствие тока. Это явление в то время было непонятно, и Эдисон не мог объяснить его.



Рис. 30.

Объяснение сделалось возможным лишь после введения теории электронов; электрический ток в пустоте возникает вследствие того, что из накаливаемой нити вылетают свободные электроны, которые притягиваются пластинкой, имеющей положительный потенциал (анод).

Лампа Эдисона с дополнительной пластинкой в наши дни получила широкое применение в целом ряде случаев: так, она применяется для выпрямления тока (кенотрон); с некоторыми же видоизменениями она применяется в радиотехнике, являясь то в роли выпрямителя, то в роли усилителя, то, наконец, в роли генератора электромагнитных колебаний (рис. 29).

Пустотные трубки, в которых вследствие накаливания катода создается вылет элек-

тронов, применяются в настоящее время в рентгентехнике, приобретающей широкое практическое значение в промышленности благодаря тому, что просвечивание различных изделий рентгеновыми лучами позволяет определить внутренние особенности этих изделий (рис. 30).

Мы опишем здесь, как устроена и как действует широко распространенная в настоящее время трубка Кулиджа, применяющаяся для полу-

чения рентгеновых лучей (рис. 31). Катодом этой трубки служит спирально-согнутая тонкая проволока из вольфрама (температура плавления его около 3400°), концы которой выведены на-

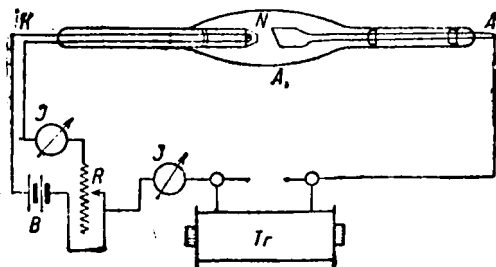


Рис. 31

ружу и присоединяются к батарее накала; электрическим током этой батареи вольфрамовый катод приводится в накаленное состояние, вследствие чего из него вылетают электроны. В противоположный конец трубки впаян металлический стержень, заканчивающийся на конце, обращенном к катоду, металлической пластиной; это — а н т и к а т о д, который одновременно служит анодом трубки.

Если наложить на электроды трубки большое напряжение, для чего необходимо соединить, например, катод и анод трубки с высоковольтным трансформатором, то вылетающие из катода термоэлектроны попадут в сильное электрическое поле; под действием этого поля электроны получат большую скорость и, ударяясь об антикатод, вызовут появление особого сильно проникающего излучения, носящего название лучей Рентгена. Пользуясь сильным полем, можно сообщить электронам чрезвычайно большую скорость, достигающую величины, близкой к скорости света. При помощи такого именно поля Кулидж получил свой поток быстро летящих электронов (стр. 30).

Если в такое же поле ввести положительные ядра атома водорода, то и они получают в нем весьма большую скорость; таким-то убыстренными протонами харьковским ученым удалось разрушить ядро атома лития.

Мы видим, что человек научился извлекать достаточно мощные потоки электронов и управлять ими; он научился и употреблять эти потоки с различными целями: в катодной лампе он применяет их в широких пределах для целей радиосвязи; в рентгеновой трубке для получения рентгеновых лучей, служащих целям исследования веществ, целям лечебным и т. п.

Однако описанный выше способ выделения электронов — путем накаливания проводников — не единственный.

В настоящее время нам известны и другие способы, из которых мы остановимся лишь на способе, в основе которого лежит в о з д е й с т в и е с в е т а.

Электроны, полученные воздействием света на те или другие вещества, получили название фотоэлектронов. Прибор, в котором



В. Рентген.



Г. Герц.

могут получаться фотоэлектроны, называется фотоэлементом. В настоящее время существует несколько типов таких фотоэлементов, и они уже получили широкое практическое применение. Достаточно сказать, что успехи звукового кино, передачи изображений на расстоянии, телевидение основываются на применении фотоэлементов. Однако этим далеко не исчерпывается область их применения: так, они употребляются часто в совершенно неожиданных областях, начиная от автоматической сортировки сигар до управления машинами, от светового управления поездами до автоматической регистрации посетителей при входах в залы и пр.

Чтобы понять, как устроены фотоэлементы, мы должны познакомиться прежде всего с основным явлением — с так называемым фотоэлектрическим эффектом.

Явление это было впервые замечено Герцем в 1887 г. и изучено Гальваксом, русским ученым Столетовым и целым рядом других ученых.

В основном явление заключается в следующем: если металлическую пластинку присоединить к чувствительному электроскопу и сообщить ей отрицательный заряд, то листочки электроскопа разойдутся на некоторый угол (рис. 32). При освещении пластинки светом вольтовой дуги или лучами Рентгена заряд на пластинке быстро исчезает. Если пластинка до опыта была заряжена положительно, то описанного явления не наблюдается. В случае нейтральной пластинки освещение вызывает зарядание ее положительным электричеством.

Объяснить эти результаты можно, лишь допустив, что при освещении металлов последние теряют электроны.

Обратим внимание, что особенно сильно проявляется фотоэффект у натрия и калия; вспомним, что у атомов этих металлов в каждом атоме имеется по одному электрону, слабо связанному с ядром.

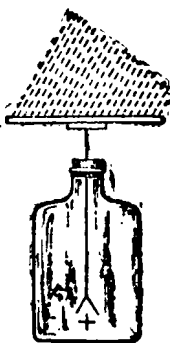


Рис. 32.

Замечено, что световые лучи разного цвета производят неодинаковое фотоэлектрическое действие. Так, красные лучи лишь у немногих металлов производят фотоэффект, тогда как фиолетовые лучи вызывают фотоэффект у значительно большего количества веществ.

Переходя в область ультрафиолетовых лучей, мы можем наблюдать еще большее фотоэлектрическое действие. Наибольшим же действием обладают рентгеновы лучи.

Как описанные явления объяснить?

Мы уже знаем, что свободные электроны не могут покинуть металлического тела: их энергия недостаточна для прохождения через пограничный слой. Поэтому, если под действием света из металла могут быть вырваны электроны, то это значит, что падающий свет сообщает им энергию, достаточную для этого.

Физика говорит, что яркость освещения поверхности пропорциональна количеству энергии, падающей на эту поверхность. Однако прямыми опытами было обнаружено следующее: если освещать поверхность пластинки, сделанной из металлического натрия, монохроматическим (простым, неразложимым) светом, постепенно переходя от световых волн более длинных (красные лучи) к волнам более коротким (желтым, зеленым, синим, фиолетовым и т. д.), то можно заметить, что фотоэффект наблюдается не при всякой длине волны; он возникает лишь при длине волны в 680 миллимикрон (0,00068 мм) и меньше. Если же освещать ту же пластинку светом большей длины волны, то никакого фотоэффекта не будет, какой бы яркости ни было освещение.

Подобное же явление наблюдается и во всех других случаях с той лишь разницей, что натрий, калий и литий (все они имеют по одному внешнему электрону в атоме) чувствительны почти ко всем лучам видимого спектра, тогда как другие металлы обнаруживают то же действие под влиянием более коротких волн (главным образом ультрафиолетовых и рентгеновых).

Оказалось таким образом, что в деле сообщения энергии электрону особенно важную роль играет длина световой волны: чем меньше длина волны светового луча, тем большую энергию такой луч сообщает электронам того тела, на которое он падает.

Такого рода вывод не мог быть объяснен в представлениях классической физики. Нужна была новая идея, которая и была найдена в виде так называемой гипотезы квантов, высказанной впервые немецким ученым Планком в самом начале XX столетия (1900 г.). Изучая явления лучепускания и лучепоглощения, Планк сделал смелый вывод, что энергия поглоща-



М. Планк.

ется или излучается телами не непрерывно, а отдельными порциями. Эти порции энергии названы были Планком квантами энергии.

Немецкий физик Эйнштейн в 1905 г. развил идею Планка о квантах, применив ее к объяснению фотоэффекта. Он предположил, что свет есть поток отдельных квантов света, движущихся в пустоте со скоростью 300 000 км/сек; энергия этих световых квантов в настоящее время вычислена. Оказывается, что каждой длине волны света, т. е. каждому цвету луча, соответствует вполне определенная величина кванта энергии. Мы дадим представление о

величине квантов света, соответствующих лучам разного цвета, в нижеследующей таблице:

Цвет луча, его положение в спектре	Длина волны	Величина кванта
Крайняя красная часть спектра (начало видимой части спектра)	0,76 микрона	$2,6 \cdot 10^{-12}$ эрга
Желтый цвет, даваемый раскаленными парами натрия	0,59 »	$3,3 \cdot 10^{-12}$ »
Крайняя фиолетовая часть спектра (конец видимой части спектра)	0,4 »	$5,0 \cdot 10^{-12}$ »
Конец ультрафиолетовой части спектра	0,1 »	$20,0 \cdot 10^{-12}$ »
Крайние рентгеновы лучи (жесткие)	$0,072 \cdot 10^{-4}$ »	$273\,000 \cdot 10^{-12}$ »

Из этой таблицы видно, что величина кванта растет по мере перехода от наиболее длинных световых волн (крайняя красная часть) к коротким; причем кванты жестких рентгеновых лучей приблизительно в 100 000 раз больше квантов красных лучей.

Может быть, нелишним будет привести следующее красочное сравнение, которое делает проф. Хвольсон:

«Красные лучи — это поток мелкой дроби; фиолетовые лучи — поток крупной дроби; крайние фиолетовые лучи — поток ружейных пуль; лучи Рентгена — поток пушечных ядер возрастающего калибра; наконец, ультрарентгеновские лучи, т. е. гамма-лучи — снаряды («чемоданы») осадных орудий».

Объяснение фотоэффекта с точки зрения теории квантов, развитой Эйнштейном, заключается в том, что при освещении какой-нибудь поверхности лучами определенной длины волны на поверхность падают кванты света, представляющие собой порции энергии; если величина каждой такой порции достаточна для вырывания одного электрона из пластинки, то фотоэффект будет иметь место, если же падающие кванты недостаточны, то фотоэффекта не будет. Вырванные действием квантов электроны могут быть подхвачены силовым полем и увлечены в общий электронный поток.

Таким именно способом фотоэлектрический эффект использован в фотоэлементе (рис. 33). Последний состоит из стеклянной колбы, из которой откачан воздух. При приготовлении колбы на части внутренней поверхности нанесен слой серебра, на который осажден калий; от слоя серебра идет отвод, присоединяемый к катоду батареи; в качестве противоположного полюса в колбу вставлено металлическое кольцо, присоединяемое к аноду батареи. В цепь батареи — фотоэлемент включается гальванометр.

Пока фотоэлемент находится в темноте, с катода не выделяются электроны, и в цепи тока нет; если же катод будет освещаться, то с его поверхности станут вылетать электроны, которые под действием электрического поля, создаваемого батареей, станут двигаться к аноду и тем самым замкнут ток в цепи. Количество электронов, выделяемых катодом, а следовательно и сила фототока, отмечаемая гальванометром, тем больше, чем ярче освещен катод. Можно изготовить фотоэлемент, в котором сила тока будет прямо пропорциональна яркости освещения поверхности катода.

Мы видим, что с изобретением фотоэлемента появился прибор,

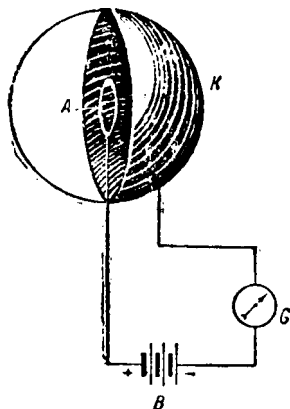


Рис. 33.

в котором световая энергия превращается в энергию электрическую. А это, как мы уже говорили, имеет крупное значение в области, например, телевидения, передачи изображений на расстояние, звукового кино и т. п.

Итак, получение электронных потоков разными способами, управление ими при помощи различных воздействий (разность потенциалов, нагревание, освещение) даст возможность использовать эту новую область человеческого знания во многих случаях.

ГЛАВА X

КАК ЭЛЕКТРОНЫ СОЗДАЮТ СВЕТ

Мы уже говорили о том, что летящие электроны отклоняются от прямолинейного пути магнитным полем.

Академик А. Ф. Иоффе показал непосредственным опытом, что вокруг катодного пучка, состоящего, как мы знаем, из движущихся электронов,

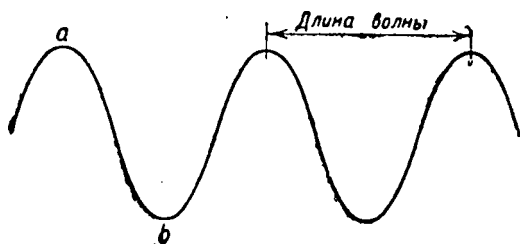


Рис. 34.

имеется магнитное поле: чувствительная магнитная стрелка, помещенная вблизи трубки, в которой проходили катодные лучи, отклонялась так же, как она отклонялась бы вблизи проводника с током. А так как

электроны сами несут с собой электрическое поле, то движущийся электрон обладает и электрическим и магнитным полем, иначе — электромагнитным полем. Это поле теснейшим образом связано с движущимся электроном. Если скорость или направление движения электрона будут изменяться, то и электромагнитное поле также будет меняться.

Всем нам известны колебания маятника часов: движения его повторяются, маятник колеблется между двумя крайними положениями, меняя в этих крайних точках направление своего движения на обратное, при этом скорость его во все время пути меняется: наибольшей скоростью он обладает, проходя через среднее положение, а в крайних положениях он имеет скорость, равную нулю. Движение, подобное движению маятника, получило название ко-

лебательного. Если привести в колебание какую-нибудь частицу, так или иначе связанную с другими, то в результате передачи колебания от одной частицы к другой создается волна, волновое движение. Примером такого движения может служить волна на воде.

Опыт показывает, что одно колебание создает одну волну; следовательно, сколько колебаний произойдет в какой-нибудь промежуток времени, столько волн образуется за это время. Число колебаний, происходящих в секунду, получило название частоты колебаний.

Каждая волна состоит из двух частей — гребня и впадины (а и б на рис. 34); расстояние между одинаковыми точками двух соседних гребней или впадин называется длиной волны.

Наконец отметим, что каждая волна бежит с определенной скоростью; так, вызывая волну на веревке, можно прямо наблюдать, с какой скоростью эта волна перемещается от одного конца к другому; то же самое можно наблюдать и на водяной волне.

Здесь можно ввести формулу, связывающую скорость распространения волны с длиной и частотой колебания.

Известно, например, что звук распространяется в воздухе со скоростью 340 м/сек. Предположим, что некоторый звук создается в результате 1000 колебаний в секунду; нетрудно определить длину звуковой волны, возникающей в этом случае: на расстоянии 340 м (метров) укладываются все 1000 волн, возникших в течение одной секунды; значит, на долю одной волны приходится:

$$\frac{340}{1000} = 0,34 \text{ м} = 34 \text{ см.}$$

Обозначая скорость распространения любой волны буквой v , длину волны буквой λ и частоту колебаний буквой ν , составим по предыдущему рассуждению формулу для длины волны:

$$\lambda = \frac{v}{\nu}.$$

Теперь возвратимся к электронам. Если заставить электроны совершать колебания, то электромагнитное поле их будет периодически изменяться; такое периодическое изменение электромагнитного поля аналогично волнению поверхности воды; поэтому периодические изменения электромагнитного поля можно назвать электромагнитными волнами.

Итак, возникновение электромагнитных волн связано с колебанием электронов.



П. Н. Лебедев.

Этим и пользуются в радиотехнике, заставляя при помощи особого устройства электронных ламп колебаться электроны в высоко поднятых проводниках, получивших название антенн. Заметим, что длина радиоволн, излучаемых с антенны, колеблется в довольно широких пределах: от нескольких тысяч метров до нескольких метров; скорость же их $300\,000\text{ км/сек}$, или иначе $3 \cdot 10^{10}\text{ см/сек}$. Мы видим, что со скоростью радиоволн не могут соперничать даже самые быстрые из электронов. Однако еще с конца XVII столетия было известно, что скорость света выражается тем же числом. Уже одно это наводит на мысль о том, что между электромагнитными волнами и светом есть что-то общее.

Английский ученый Максвелл путем математических расчетов доказал, что свет есть не что иное, как электромагнитные волны. А немецкий ученый Герц и русский Лебедев на опытах доказали, что электромагнитные волны могут отражаться и преломляться по тем же законам что и свет.

Так что к началу XX столетия уже не было никаких сомнений в электромагнитной природе света; были с большой точностью измерены длины световых электромагнитных волн; они оказались чрезвычайно малыми; так, длина волны красных лучей, находящихся на крайнем участке спектра, как мы уже упоминали, равна $0,000076\text{ см}$; на протяжении одного сантиметра уложится приблизительно 13 000 таких волн.

Если принять во внимание, что скорость света $3 \cdot 10^{10}\text{ см/сек}$, то не трудно рассчитать, сколько таких волн образуется в течение одной секунды:

$$13\,235 \cdot 3 \cdot 10^{10} = (\text{приблизительно}) 4 \cdot 10^{14} \text{ волн.}$$

Четыреста триллионов колебаний в секунду!

Нельзя себе представить ни одно физическое тело, колеблющееся с такой частотой. Однако факт существования этих колебаний твердо установлен. Что же может колебаться с такой исключительно большой частотой? Электрон. Его колебания являются причиной излучения электромагнитных волн.

Мы уже говорили, что в атоме электроны движутся в о к р у г ядра. Значит, в каждый отдельный момент электрон меняет направление своего движения, так как он движется по кругу. А согласно теории при этом электрон должен излучать электромагнитную энергию. Казалось, что решение найдено. Но сейчас же возникает такой вопрос: а откуда берет электрон энергию и что с ним происходит при постепенном выделении ее? Электрон может выделять только ту энергию, которой он обладает; по мере выделения энергии электрон должен упасть на ядро и атома как такового не будет.

Но ведь этого не случается! Мы знаем хорошо, что атомы не погибают, а излучение все-таки происходит.

Датский ученый Бор в 1913 г. выдвинул такие положения:

1. Во всяком атоме существуют орбиты, при движении по которым электрон не излучает энергии.

2. Излучение происходит лишь в том случае, когда электрон перескакивает с одной более далекой орбиты на другую.

3. При таком перескоке электрона выделяется всегда один квант энергии в виде светового излучения.

Бор установил, что излучение подчиняется след. закону Планка¹: излученная энергия пропорциональна частоте колебаний,

$$E = h\nu.$$

Здесь ν обозначает то число колебаний, которым характеризуется данное излучение, E — энергия, а h — коэффициент пропорциональности, носящий название «постоянной Планка».

Значит, от того, на какой орбите находился электрон и на какую он перескочил, зависит энергия кванта света, а следовательно, и цвет его излучения.

Исходя из положений Бора, оказалось возможным рассчитать, какие излучения возможны при переходах электронов в том или другом атоме.

Наиболее полно удалось рассчитать спектр, испускаемый атомами водорода; однако и для других атомов такие подсчеты в некоторых случаях сделаны.

При этом выяснилось, что для объяснения излучения света атомами необходимо принимать во внимание перескоки, которые совершают самые внешние электроны, находящиеся в еще незаконченных электронных оболочках атомов. Те же электроны, которые образуют законченные электронные оболочки, в испускании света не участвуют. Однако это не значит, что их нельзя заставить участвовать в излучении.

¹ См. словарь — Постоянная Планка.

Для этого нужно только выбить какой-нибудь из электронов, находящихся на одной из законченных оболочек. Возьмем для примера металл натрий. Он стоит на одиннадцатом месте в периодическом ряду Менделеева. Следовательно, он обладает 11-внеядерными электронами (см. таблицу на стр. 40). Эти электроны, как мы знаем, располагаются вокруг ядра следующим образом: в первом слое два электрона составляют так называемую «гелиевую» оболочку; во втором находится восемь электронов, составляя оболочку типа газа аргона; наконец, в третьем слое находится всего лишь один электрон. Перескоки именно этого электрона и составляют причину излучения света, которое дает натрий в накалинном состоянии: это желтый свет длиной волны в 0,0000589 см.

Если же направить на натрий поток электронов, движущихся с достаточной скоростью, то эти электроны, попадая в электронные оболочки, будут их вышибать из атома. В результате этого в электронных оболочках образуются свободные места, которые сейчас же заполняются электронами из соседних, более удаленных слоев. А так как при таком перескоке выделяются кванты энергии, то это будет сопровождаться и **излучением**. Это излучение называется **рентгеновским**: оно проникает сквозь многие тела, которые для обычного света являются непрозрачными.

Мы видим, таким образом, что с точки зрения положений Бора можно объяснить происхождение как видимого, так и невидимого и в частности рентгеновского излучения. Кроме того изучение рентгеновского излучения приводит к еще более глубокому знакомству со строением атомов, так как дает возможность судить о расположении электронов в них.

ГЛАВА XI

ЭЛЕКТРОНЫ И ВОЛНЫ

В предыдущей главе мы познакомились с тем, как электроны создают свет, т. е. колебания в окружающем их пространстве. Мы видели кроме того, что свет излучается в виде определенных порций или квантов. Для объяснения природы света как будто бы нет единой теории: в одном случае мы прибегали к представлению о волнах, в другом — о частицах. Такое двойственное толкование природы света в настоящее время может быть продолжено и далее: прочно установившийся взгляд на материю говорит о том, что материя состоит из отдельных частиц (молекулы, атомы, электроны, протоны, нейтроны и др.); однако мы располагаем це-

лым рядом фактов, которые говорят о том, что частицы материи могут трактоваться как волны.

Такого рода заключение основывается, с одной стороны, на теоретических рассуждениях, а с другой — на прямых опытах.

Французский физик Луи де-Бройль, разбирая вопрос о взаимоотношениях частиц и волн, сделал допущение, что всякая частица связана с каким-то колебанием, частота которого ν . Если частица движется, то связанное с ней колебание создает волну. Де-Бройль предположил, что для этих волн применимы уравнения Эйнштейна и Планка (стр. 37 и 59),

$$\text{т. е.} \quad E = mv^2 \text{ и } E = h\nu. \quad mv^2 = h\nu,$$

откуда можно определить частоту того периодического процесса, который связан с частицей:

$$\nu = \frac{mv^2}{h}.$$

Де-Бройль дает и формулу для определения длины волны, сопровождающей движущуюся частицу:

$$\lambda = \frac{h}{mv},$$

где v — скорость движения частицы.

Таким образом последняя формула с каждой движущейся частицей связывает волны определенной длины.

Если бы мы захотели вычислить длину волн, сопровождающих электрон, движущийся, например, со скоростью $1000 \text{ км/сек} = 10^8 \text{ см/сек}$, то мы получили бы:

$$\lambda = \frac{6,54 \cdot 10^{-27}}{9 \cdot 10^{-28} \cdot 10^8} = 0,7 \cdot 10^{-7} \text{ см.}$$

Мы получили длину волны, которая связана с движущимся электроном; она больше радиуса атома водорода в 14 раз и в 350 000 раз больше радиуса самого электрона.

Какие же опыты говорят в пользу этой теории де-Бройля?

В настоящее время мы имеем уже много весьма ценных исследований. Обратимся к некоторым из них.

Если вы ночью смотрите на уличный фонарь через окно, покрытое тонкой паутиной ледяных кристаллов, то вы не видите фонарь отчетливо; вы видите, что вокруг фонаря образуются концентрические радужные окружности. Это — дифракция света: отдельные световые волны, проходя от источника света к нашему глазу, оги-

бают препятствия в виде отдельных кристаллов льда и, складываясь затем, образуют описанную выше картину.

Подобным же образом в настоящее время производят исследование металлов рентгеновыми лучами. Узкий пучок лучей направляют на кусочек металла, за которым помещается фотографическая пленка. При перпендикулярном положении пленки по отношению к лучу на пленке получается система концентрических кругов с центром в том месте, где упал бы на пленку рентгенов луч, если бы на пути его не было металла.

И в этом случае образование колец на пленке есть следствие дифракции рентгеновых лучей.

Уже довольно давно известно, что и лучи видимого света и рентгеновы лучи представляют собой волновой процесс. Дифракция их есть одно из наиболее веских доказательств их волновой природы.

Как же дело обстоит с частицами?

В 1927 г. были опубликованы результаты опытов Дэвиссона и Джермера в Америке и Дж. П. Томсона в Англии.



Рис. 35.

Опыты эти требуют весьма высокого экспериментального искусства. Дело в том, что электроны весьма сильно поглощаются различными веществами. Поэтому для опыта необходимо было получить очень тонкие пленки толщиной около одной миллионной доли сантиметра (10^{-6} см). Через такие металлические пленки свет

проходит так же свободно, как через стекло, слегка смазанное чернилами.

Томсону удалось обнаружить явления дифракции при прохождении электронов через тонкие металлические листки (рис. 35). Картина, которую удается получить на фотографической пластинке, расположенной за тонкой металлической пленкой перпендикулярно направлению потока электронов, представляет собою полную аналогию той, которая получается при дифракции видимых или рентгеновых лучей.

Измерения радиуса колец дифракции, получающейся при прохождении электронов через тонкие пленки, делают возможным вычисление длин волн, которые обнаруживают дифракцию. Эти измерения приводят почти к полному совпадению опытных результатов с результатами, получающимися теоретическим путем на

основании уравнений де-Бройля. Найдено, что в среднем расхождение теоретических и опытных результатов не превосходит 1—2%.

Более того, было обнаружено, что явление дифракции наблюдается не только у электронов, но и у протонов. А в 1930 г. было показано, что пучки атомов ведут себя при отражении от кристаллов подобно волнам, длина которых вычисляется по той же формуле де-Бройля.

Мы видим, что теория, созданная де-Бройлем, находит себе подтверждение и в опытных данных. Однако построить картину того, что собой представляет электрон с точки зрения теории де-Бройля, не легко. Воспользуемся поэтому аналогией.

Кто наблюдал море, тот хорошо знает, что волны, которые следуют одна за другой, не бывают совершенно одинаковы. Нетрудно бывает заметить, что среди них есть такие, которые обладают наибольшей энергией; они обладают и большей высотой, так что их легко выделить среди всех других волн. Такие «максимумы» движутся медленнее, чем окружающие их волны. Можно сказать, что «максимум» как бы ведет за собой целый караван волн, которые его обгоняют, проходят сквозь него и несут его в определенном направлении, определяя своим движением направление перемещения этого максимума.

В теории де-Бройля волны материи, уподобляются обычным волнам бурного моря, электроны же аналогичны тем «максимумам», которые несут энергию целой группы волн. Первые из них называются иногда фазовыми волнами; скорость их распространения согласно теории де-Бройля больше скорости света:

$$w = \frac{c^2}{v},$$

где w — скорость фазовых волн, а v — скорость частицы.

Фазовые волны не несут энергии. Вся энергия данной группы волн сосредоточена в некотором центре, который распространяется со скоростью всегда меньшей скорости света; скорость распространения этого центра называется групповой скоростью. Эта скорость совпадает со скоростью движения частицы — электрона. Таким образом электрон представляет собой тот центр, который возглавляет целый отряд электронных волн и сосредоточивает в себе энергию этого отряда волн.

Так сливаются понятие волны и понятие частицы. Частица и волна — это две стороны одной и той же сущности — материи.

СЛОВАРЬ ФИЗИЧЕСКИХ ТЕРМИНОВ, ВСТРЕЧАЮЩИХСЯ В ТЕКСТЕ БЕЗ ОБЪЯСНЕНИЯ

Абсолютная система единиц. Для измерения различных физических величин употребляется в настоящее время несколько систем единиц. Абсолютная система, принятая во всякого рода научных измерениях, основывается на выборе трех величин в качестве основных; таковы — длина, масса и время.

За единицу длины в этой системе принимается 1 сантиметр, за единицу массы 1 грамм, за единицу времени 1 секунда. Поэтому абсолютную систему называют иногда системой «сантиметр-грамм-секунда» или чаще — системой *CGS* (начальные буквы французских названий основных трех единиц).

Для других величин можно выразить единицы, пользуясь тремя основными; так, единицей ускорения в этой системе является такое ускорение, при котором в каждую секунду скорость движения тела изменяется на 1 см/сек. За единицу силы — дину — принимается такая сила, которая массе в 1 грамм сообщает упомянутую выше единицу ускорения.

И электрические измерения можно производить в этой системе. Если расположить два заряженных тела на некотором расстоянии один от другого, то они будут или притягиваться или отталкиваться с некоторой силой. Представим себе, что мы выбрали два одинаковых заряда, которые, находясь на расстоянии 1 см один от другого, взаимодействуют с силой в 1 дину. В таком случае количества электричества, имеющиеся на каждом из этих тел, считаются одной единицей количества электричества в системе *CGS* (это обозначается так: 1 единица количества электричества *CGSE*).

Упомянутый нами кулон равен $3 \cdot 10^9$ единиц количества *CGSE*. Электрические измерения можно производить, не только исходя из взаимодействия между электрическими зарядами, но и исходя из взаимодействия между электрическим током и каким-нибудь полюсом магнита. В таком случае мы имеем так называемые электромагнитные единицы абсолютной системы мер (или иначе *CGSM*). За единицу количества электричества в этом случае берется 10 кулонов или $3 \cdot 10^{10}$ единиц *CGSE*.

Ампер — практическая единица силы электрического тока; ток силой в 1 ампер получается в том случае, когда через поперечное сечение проводника в течение 1 секунды проходит 1 кулон электричества. Название это дано в честь французского физика Ампера (1776—1856).

Анод — название электрода, соединяемого с положительным полюсом источника электричества; этим именем называют также положительный полюс гальванического элемента. Термин произведен от двух греческих слов — «анодос», что значит путь вверх; введен в науку английским ученым Фарадеем.

Атом — по представлению физики и химии XIX столетия — мельчайшая частица, не поддающаяся дальнейшему разложению ни химическими, ни физическими способами. Слово происходит от двух греческих «а томос», что значит — неделимый.

В настоящее время мы должны отказаться от такого представления об атоме и считать его более или менее сложной системой положительных и отрицательных зарядов, системой, не изменяющей своих свойств и ведущей себя как неделимое при всех химических реакциях. При некоторых же физических воздействиях атом обнаруживает себя не как неделимое, а подчас как весьма сложное образование. Эти случаи разобраны в книжке.

Взаимодействие зарядов было обнаружено в XVIII столетии Дюфе и выражается в следующем законе: тела, заряженные однородными зарядами, отталкиваются, заряженные неоднородными — притягиваются. Так, если подвесить на шелковой нитке тонкую бумажную гильзу и прикоснуться к ней стеклянной палочкой, натертой о кожу, то гильза будет отталкиваться от этой палочки: здесь мы имеем на палочке и гильзе однородное электричество; наоборот, если к той же гильзе поднести сургучную палочку, натертую о сукно, то гильза притянется к ней; в этом случае на гильзе и палочке находятся разнородные заряды.

Вольт — практическая единица напряжения электрического тока; это есть такое напряжение между двумя точками цепи, при котором в этом участке цепи совершается 1 джоуль работы при прохождении 1 кулона электричества (см. также Разность потенциалов). Название дано в честь итальянского ученого Вольты (1745—1827).

Гальванометр — прибор, при помощи которого можно в цепи обнаружить весьма слабый электрический ток. Существует много различных видов гальванометров: из них наиболее часто употребляются электромагнитные; в основе их устройства лежит взаимодействие между магнитным полем постоянного магнита и полем маленькой рамочки, по обмотке которой проходит электрический ток (рис. 36).

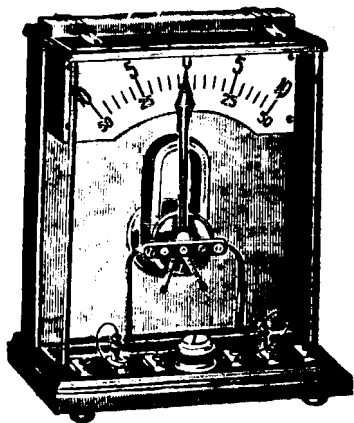


Рис. 36.

Гипотеза — предположение, вводимое в науку на основании ряда соображений, недостаточно обоснованных с опытной стороны. В случае полного согласия с опытом гипотеза, детально разработанная, превращается в теорию. Если гипотеза не дает согласия с опытом, то она может быть и отброшена, а на ее место может быть выдвинута новая.

Давление воздуха обнаруживается в известном опыте Вивiani, проведенном им по предложению Торичелли, с длинной трубкой и ртутью. Условно считается, что нормальным такое давление, которым удерживается ртуть на высоте 760 мм. Давление такого столба ртути на 1 см^2 поверхности равно 1,033 кг. Такое давление принимают за единицу и называют атмосферой. В технике атмосферой называют давление в 1 кг на 1 см^2 .

Давление свободной атмосферы измеряется при помощи барометров, давление газов или паров, находящихся в каком-нибудь замкнутом пространстве (котел, баллон и пр.), измеряется манометрами.

Дифракция — явление, наблюдаемое в волновых процессах и заключающееся в огибании встречных препятствий проходящими волнами. В результате дифракции света на экране образуется система полос или концентрических кругов.

Длина волны определяется расстоянием между двумя ближайшими точками, совершающими одновременно совершенно одинаковые по направлению колебания. Подробнее об определении длины волны и связи ее с другими величинами см. стр. 57.

Живая сила — термин, введенный в механику Лейбницем (1646—1716); он употребляется для обозначения энергии, которой обладает движущееся тело, и определяется через половину произведения массы тела на квадрат скорости

его, т. е. $\frac{mv^2}{2}$, где m — масса тела, а v — скорость его.

Эта величина измеряется в единицах работы, т. е. в эргах или килограммометрах. Термин «живая сила» неудачен не только потому, что он предполагает наличие «живых» и «мертвых» сил, но и потому, что словом «сила» здесь обозначается величина, равнозначная с работой.

В настоящее время все чаще этот термин заменяется другим — кинетическая энергия.

Закон Джоуля-Ленца, открытый одновременно Джоулем в Англии и Ленцем в России (1841), устанавливает зависимость, с одной стороны, между количеством тепла, выделяемым током в проводнике, а с другой — силой тока, его напряжением или сопротивлением проводника.

Он устанавливает, что количество тепла, выделяемого током в проводнике, прямо пропорционально силе тока, напряжению его и времени прохождения; выражается закон следующей формулой:

$$Q = C \cdot I \cdot E \cdot t$$

в которой Q — количество тепла (в малых калориях), C — коэффициент, равный 0,24, I — сила тока в амперах, E — напряжение в вольтах, t — время в секундах.

Закон Ньютона 2-й гласит: «Изменение количества движения пропорционально импульсу силы и направлено в сторону действия силы» ($m\Delta v = f\Delta t$).

Закон Фарадея, называемый иначе законом электролиза, формулируется так: количество вещества, выделенного током при электролизе, прямо пропорционально силе тока и времени его прохождения:

$$M = kIt,$$

где M — количество вещества в миллиграммах, I — сила тока в амперах, t — время в секундах, k — коэффициент, называемый электрохимическим эквивалентом; он обозначает количество вещества, выделенного током в 1 ампер в течение 1 секунды; для разных веществ электрохимический эквивалент различен; так, для меди его величина равна 0,329 мг; для серебра — 1,118 мг и т. п.

Поскольку ампер есть кулон в секунду, то закон Фарадея можно формулировать не для силы тока, а для количества электричества: количество вещества, выделенного при электролизе, прямо пропорционально количеству электричества, протекающего через электролит, т. е.

$$M = kq,$$

где q — количество электричества в кулонах. Значит, электрохимический эквивалент есть количество вещества, выделяемое из раствора при прохождении одного кулона электричества.

Импульс силы — произведение силы на время ее действия (ft).

Калория — единица количества тепла; малая калория — количество тепла, необходимое для нагревания 1 грамма воды на 1 градус; большая калория равна 1000 малых калорий.

Катод — название электрода, соединяемого с отрицательным полюсом источника электричества; катодом называют также отрицательный полюс гальванического элемента. Термин произведен от греческих слов «кат-одос», что значит путь вниз; введен в науку Фарадеем.

Квант. Даем вычисление энергии световых квантов для крайних участков спектра. На основании оптических измерений известно, что крайние красные лучи спектра имеют длину волны 0,000076 см. А так как свет распространяется со скоростью $3 \cdot 10^{10}$ см/сек (300 000 км/сек), то нетрудно вычислить, сколько волн образуется в течение одной секунды; а последнее число дает частоту колебаний, производимых излучающей частицей тела. Это число равно

$$\nu = \frac{3 \cdot 10^{10}}{7,6 \cdot 10^{-5}} = 0,4 \cdot 10^{15} \text{ колебаний в секунду,}$$

т. е. около четырехсот триллионов колебаний в секунду.

Вставляя эту величину в формулу для вычисления кванта крайнего красного луча, находим:

$$E_{\text{кр}} = 6 \cdot 54 \cdot 10^{-27} \cdot 0,4 \cdot 10^{15} = 2,6 \cdot 10^{-12} \text{ эрга} \approx 2,6 \cdot 10^{-20} \text{ кам.}$$

Подобным же образом можно вычислить энергию кванта и противоположного фиолетового конца спектра, принимая во внимание, что длина волны крайнего фиолетового луча равна около 0,00004 см. Вычисление для кванта фиолетового луча дает:

$$E_{\text{ф}} \approx 5 \cdot 10^{-12} \text{ эргов}$$

или около $5 \cdot 10^{-20}$ кам.

Кинетическая энергия определяет ту энергию, которой обладает движущееся тело; величина ее зависит от массы тела и скорости его движения и равна живой силе: $\frac{mv^2}{2}$. Кинетическая энергия изме-

ряется единицами работы (см. Живая сила).

Количество движения — произведение массы тела на его скорость (mv).

Кулон — практическая единица количества электричества, равная $3 \cdot 10^9$ единиц CGSE. Определяют эту единицу, как такое количество электричества, которое в электролитической ванне отлагает на катоде 1,118 мг серебра. Название дано в честь французского физика Кулона (1736—1806).

Магнитное поле — пространство вокруг магнита, в котором можно обнаружить взаимодействие его полюсов с полюсами другого магнита. Обнаружить поле можно, покрыв картоном магнит и посыпав на картон ровным слоем железные опилки; в таком случае последние обнаруживают расположение так называемых магнитных силовых линий, т. е. направлений, по которым происходят магнитные взаимодействия (рис. 37). Направление сило-

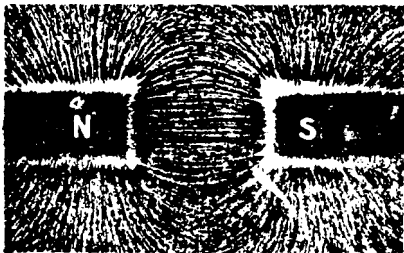


Рис. 37.

вых линий, а следовательно, и поля условно принимается от северного полюса N к южному S; это направление на чертеже указано стрелками (рис. 38).

Ом — практическая единица сопротивления проводников электрическому току; это есть сопротивление ртутного столба сечением 1 мм^2 и длиной 106,3 см при температуре 0° . Сопротивлением в 1 ом обладает железная проволока сечением 1 мм^2 и длиной около 10 м. Название дано в честь немецкого физика Ома (1787—1854).

Отрицательное электричество появляется на смоляной палочке при натирании ее сукном; одновременно при этом на сукне появляется положительное электричество; количества появляющихся на натираемых поверхностях отрицательных и положительных зарядов одинаковы. Название «отрицательное электричество» дано зарядам, появляющимся на одном из электризуемых тел, чисто условно; смысл обозначений электрических зарядов — положительный или отрицательный — в том, чтобы показать противоположность их. Исследование источников электричества (гальванические элементы, аккумуляторы и др.) показало, что и у них так называемые

полюсы несут заряды противоположного знака; при этом на цинке гальванических элементов имеются отрицательные заряды.

Положительное электричество появляется на стеклянной палочке при натирании ее об амальгированную кожу. (Амальгама — раствор цинка в ртути; этой амальгамой покрывают кожу.) Положительные заряды имеются на угольном полюсе элемента Лекланше, медном полюсе элемента Даниэля и т. п. (см. также отрицательное электричество).

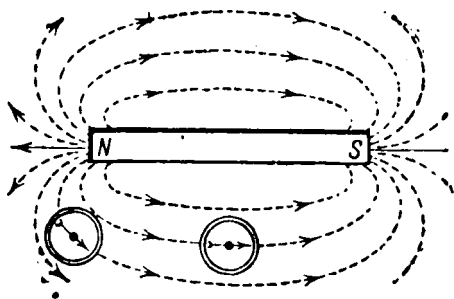


Рис. 38.

Постояная Планка. Так как поглощение и излучение энергии, согласно классическим представлениям, связано с колебаниями отдельных частиц, составляющих тело (Планк не указывал, каких именно — молекул, атомов или электронов), то Планк предположил, что величина кванта пропорциональна частоте колебания частиц, излучающих (или поглощающих) энергию, т. е.

$$E = h\nu,$$

где E — энергия кванта, ν — частота колебаний, h — коэффициент пропорциональности, известный под названием постоянной Планка.

Эта постоянная определялась несколько раз различными способами; наиболее достоверная величина ее получена была американским ученым Милликаном и оказалась равной $6,64 \cdot 10^{-27}$ эрг/сек.

Разность потенциалов между двумя точками электрического поля определяется величиной работы, которую совершает единица количества электричества при перемещении между этими точками поля; в абсолютной системе мер за единицу разности потенциалов считается такая, при которой 1 единица количества CGSE совершает работу в 1 эрг; 1 практическая единица разности потенциалов — 1/100 вольта; это есть разность потенциалов, при которой 1 кулон электр-

чества совершает работу в 1 джоуль. 1 вольт равен $\frac{1}{300}$ единицы разности потенциалов CGSE.

Рентгеновы лучи представляют собой невидимое излучение, происходящее в сильно откачанной трубке вследствие ударов электронов в стеклянную стенку трубки, противоположающую катоду, или в особую металлическую пластинку, находящуюся против катода (антикатод). Лучи эти обладают целым рядом свойств, выделяющих их среди других лучей. Так, они проникают сквозь такие вещества, которые для обычных лучей непроницаемы (например металлы, дерево, картон и пр.); несмотря на то, что они невидимы, они действуют на фотографическую пластинку так же, как и видимые лучи; они обладают способностью делать воздух электропроводным и т. п.

Рентгеновы лучи, как показали исследования, представляют такие же электромагнитные колебания, создаваемые движением электронов, как и обычные видимые лучи; отличием их от последних является длина волны; длина волны рентгеновых лучей в несколько тысяч раз меньше длины волны обычных видимых лучей.

Рентгеновы лучи открыты в 1895 г. немецким ученым Рентгеном и названы были им X-лучами (икс-лучами).

Спектр — собрание различных цветов, расположенных в определенной последовательности; спектр получается в результате разложения сложного луча на составные; так, если белый солнечный луч пропустить через призму, то на экране, поставленном за призмой, появляется полоска, состоящая из следующих цветов, переходящих друг в друга: красный, оранжевый, желтый, зеленый, синий и фиолетовый. Исследование показало, что за красным участком находится довольно большой участок невидимых лучей, называемых инфракрасными, а за фиолетовым — тоже невидимый участок лучей — ультрафиолетовых. Совокупность упомянутых выше видимых и невидимых лучей составляет спектр белого солнечного света. Спектры в других случаях могут быть иными; так, спектр, получаемый от раскаленных паров водорода, состоит из ряда ярких узких полосок (спектральных линий), расположенных на определенных расстояниях друг от друга; такие же линии, но невидимые, можно обнаружить в ультрафиолетовой и инфракрасной частях; в настоящее время известна в общей сложности 31 линия. Совокупность их составляет спектр водорода.

Трансформатор повышающий основан на открытом Фарадеем свойстве возбуждать ток в проводнике переменным магнитным полем. В схеме (рис. 39) трансформатор состоит из рамы, сложенной из большого числа железных листов, две противоположные стороны рамы обмотаны изолированной проволокой разной толщины и разного числа оборотов: тонкой проволокой кладется большее число оборотов, чем толстой; если пропускать по толстой проволоке переменный ток, то вследствие образования вокруг такой проволоки переменного магнитного поля, которое главным образом распространяется в железе, в тонкой проволоке возникает вследствие индукции (наведения) ток, сила которого — меньше, а напряжение выше, чем у тока, идущего по более толстой (первичной) обмотке. Таким образом, при помощи этой

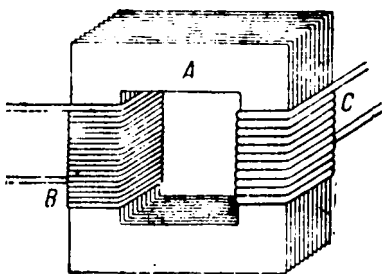


Рис. 39.

системы можно повысить напряжение тока. Отношение числа оборотов вторичной катушки (n_2) к числу оборотов первичной (n_1) определяет, во сколько раз напряжение во второй получается больше, чем в первой; такое отношение называется коэффициентом трансформации и выражается формулой: $\frac{n_2}{n_1}$.

Повышающие трансформаторы (к числу их принадлежит, например, катушка Румкорфа, см. рис. 40) могут повышать напряжение до миллиона вольт.

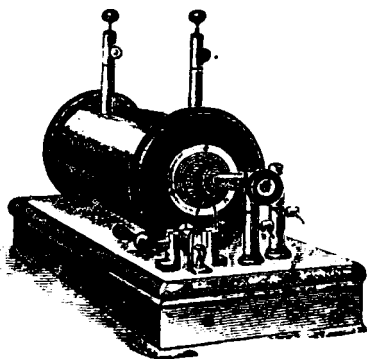


Рис. 40.

Удельный вес — отношение веса данного тела к его объему, причем обычно вес тела выражается в граммах, а объем в кубических сантиметрах.

Приведем некоторые примеры удельных весов:

Ртуть	13,6	г/см ³
Железо	7,8	»
Медь	9	»
Алюминий	2,6	»
Вода	1	»
Лед	0,9	»
Дерево	0,5—0,9	»
Воздух	0,0013	»

Удельный заряд — отношение заряда к массе, т. е. $\frac{e}{m}$.

Величина удельного заряда электрона может быть вычислена согласно формуле:

$$\frac{e}{m} = \frac{v^2}{2V};$$

при этом все единицы должны быть выражены в соответствующей системе мер. Так, можно, например, вычислить по данным текста (стр. 16 и 17) величину удельного заряда электрона следующим образом: скорость движения электронов $v = 60\,000$ км/сек; выражаем в единицах системы CGS, т. е. в см/сек: $v = 6\,000\,000\,000 = 6 \cdot 10^9$ см/сек; разность потенциалов между катодом и анодом трубки выражаем в единицах разности потенциалов CGSE:

$$V = 10\,000 \text{ вольт} = 10\,000 \frac{1}{300} = \frac{100}{3} \text{ единиц разности потенциалов CGSE.}$$

Подставим найденные значения в формулу:

$$\frac{e}{m} = \frac{(6 \cdot 10^9)^2}{2 \cdot \frac{100}{3}} = \frac{36 \cdot 10^{18} \cdot 3}{2 \cdot 100} = 5,4 \cdot 10^{17} \text{ единицы CGSE.}$$

То же отношение заряда электрона к его массе может быть выражено в системе электромагнитных единиц (CGSM), так как 1 единица количества электричества CGSM = $3 \cdot 10^9$ единиц CGSE, то

$$\frac{e}{m} = 5,4 \cdot 10^{17} \text{ единицы CGSE} = \frac{5,4 \cdot 10^{17}}{3 \cdot 10^9} = 1,8 \cdot 10^8 \text{ единицы CGSM.}$$

Знание величины удельного заряда электрона и величины его абсолютного заряда дает возможность определить массу электрона.

Так как электрон есть заряд, равный $1,59 \cdot 10^{-10}$ кулона, то в единицах CGSE этот заряд выражается в $1,59 \cdot 10^{-10} \cdot 9 \cdot 10^9 = 4,77 \cdot 10^{-10}$ единицы CGSE.

Следовательно по предыдущему вычислению:

$$\frac{4,77 \cdot 10^{-10}}{m} = 5,4 \cdot 10^{17},$$

откуда:

$$m = \frac{4,77 \cdot 10^{-10}}{5,4 \cdot 10^{17}} = 0,9 \cdot 10^{-27} \text{ г} = 9 \cdot 10^{-28} \text{ г}.$$

Тот же результат получается, если воспользоваться для вычисления величинами CGSM.

Ультрафиолетовые лучи представляют собой часть спектра, обладающую наиболее короткими волнами (от 0,00004 см и меньше). Эти лучи невидимы

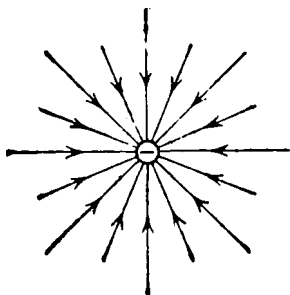


Рис. 41.

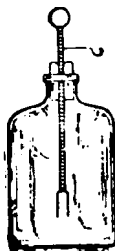


Рис. 42.

(см. спектр), но они на многие вещества производят сильное действие; так, на бромистые и хлористые соли серебра, употребляемые при изготовлении фотографических пластинок, они оказывают сильное разлагающее действие, почему эти лучи особенно важны в фотографии; эти лучи способны вызывать электропроводность газов; действуя на многие вещества, ультрафиолетовые лучи вызывают в них явления фотоэффекта, т. е. вырывание электрона с поверхности этих веществ (см. в тексте гл. IX).

Электрическое поле — пространство вокруг заряженного тела, где можно обнаружить электрическое взаимодействие между данным полем и зарядом, внесенным в него. Форма электрического поля бывает различна; так, поле электрона может быть представлено в виде радиально расположенных силовых электрических линий (рис. 41). За направление электрического поля принимается направление, по которому будет двигаться положительный заряд, внесенный в исследуемое поле; так, на рис. 41 стрелками показано направление поля электрона, так как положительный заряд, внесенный в поле его, стал бы двигаться по направлению к электрону.

Электромагнитная масса. Так как всякий движущийся заряд обладает электрическим и магнитным полем, причем при изменении скорости движения заряда будет изменяться и его электромагнитное поле, то Абрагам пришел к заклю-

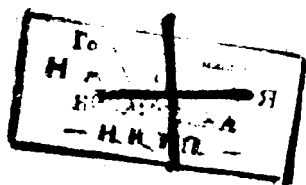
нию, что движущийся электрический заряд должен обладать такой же инерцией, как и весовая материя, т. е. вести себя по отношению к законам механики так, как будто бы он обладал некоторой массой, которая получила название электромагнитной. Эта масса не вполне постоянна: она зависит от скорости движения в тех случаях, когда скорость эта близка к скорости света.

Изучение этой зависимости показало, что электроны имеют массу, кроме той, которая вызвана их зарядом, не имеют.

Электрометр — прибор большой чувствительности, служащий для измерения потенциала. Его показания основаны на притяжении и отталкивании, испытываемом заряженными телами в электрическом поле.

Электроскоп — наиболее распространенный прибор для обнаружения присутствия электрического заряда или потенциала заряженного тела. Состоит из стеклянного сосуда, в котором на металлическом стержне прикреплены один или два подвижных листочка (рис. 42). Стержень сверху заканчивается шариком или диском. Если прикоснуться к шарiku (диску) электроскопа заряженным телом, то заряд передается всему стержню с листочками; последние, зарядившись однородным электричеством, разойдутся, друг от друга на некоторый угол. По величине угла расхождения листочков (если имеется соответствующее приспособление) можно судить о потенциале, т. е. о степени заряженности тела, соединенного с электроскопом.

Эрг — единица работы в системе CGS. Это — работа, производимая силой в 1 дину на пути в 1 сантиметр (см. Абсолютная система мер). Эрг — весьма малое количество работы; так, практическая единица работы — джоуль — равна 10 миллионам (10^7) эргов; работа 1 килограмметра равна $9,8 \cdot 10^7$ эргов, т. е. около 100 миллионов эргов. В практических расчетах обычно не употребляется.



Цена 75 к.

Д
16729

