

Иг. ТАММ

РЕНТГЕНОВСКИЕ ЛУЧИ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА ★ 1927 ★ ЛЕНИНГРАД

ПРЕДИСЛОВИЕ.

В последние годы появился новый тип читателя, у которого некоторая привычка к отвлеченной мысли, выработанная изучением общественно-экономических вопросов, сочетается с чрезвычайной скудостью естественно-научных познаний. Надеюсь, что эта книжка будет под силу такому читателю. Правда, она не годится для легкого чтения. И это не потому, что в ней описываются сложные и трудно понятные факты и явления; напротив, каждое из них в отдельности поразительно просто. Но все эти явления представляют собою единую связную систему; для понимания последующих звеньев этой цепи фактов и рассуждений необходимо хранить в памяти все предшествующее. Поэтому читателю в процессе чтения нередко придется вновь возвращаться к прочитанным уже местам.

Эта книжка вовсе не затрагивает уже технических вопросов, связанных с получением и применением рентгеновских лучей. Ее задача — ответить на вопрос о физической природе рентгеновских лучей, дать понимание физических процессов, связанных с получением и применением этих лучей, наконец указать место этих процессов в ряду других физических явлений. Ввиду предполагаемой неподготовленности читателя единственный путь к решению этой задачи состоит в попутном

изложения целого ряда общих физических сведений (строение вещества, волны вообще и электромагнитные в частности и т. д.). Сведения эти разбросаны по всей книге и составляют добрую ее половину. Некоторые из них повсюду пришлось излагать догматически; зато все, что непосредственно относится к „рентгену“, по возможности подкрепляется описанием опытных доказательств.

При писании этой книжки я ни в малейшей мере не стремился к исчерпывающей полноте изложения. Целый ряд основных вопросов оказался совершенно не затронутым (например все вопросы энергии). Критерием при отборе материала служила возможно большая связность и единство изложения. Из общефизических сведений безоговорочно опускалось все то, что не являлось необходимым для понимания основной нити рассуждений (например о магнитной стороне электрических волн упоминается только в одном примечании).

Все изложение основано, конечно, на классической теории электромагнитных колебаний. Единственная дань теории квантов, это — квантовое условие Бора, выбранное в качестве одной из руководящих нитей изложения. Согласно современным воззрениям и в отличие от обычного в популярной литературе способа изложения, электромагнитные колебания трактуются мною чисто феноменологически, как изменения напряженности поля; теория эфира вовсе не намечается.

ВВЕДЕНИЕ

Не так давно еще самое слово „рентгеновские лучи“ было известно только довольно узкому кругу специалистов. Но война пустила в широкий оборот много новых слов, в том числе и слово „рентгеновский“. Сотни тысяч солдат могут рассказать о том, как с них делались рентгеновские снимки. У одного врач с помощью „рентгена“ разыскал глубоко зашедшую пулю, у другого определял характер раздробления кости, у третьего, ча-воточного, „рассмотрел“ состояние легких и т. д. Но если слово „рентгеновский“ получало теперь широкую известность, если многие знают, что с помощью „рентгена“ можно рассматривать внутренности живого человека, то очень мало кто понимает, что в сущности представляют собой рентгеновские лучи, как их получают и как ими пользуются.

А между тем лучи эти представляют большой интерес с самых разнообразных точек зрения. С их помощью рассматривают внутренности человека, измеряют злокачественные опухоли, лишай, волчанку и другие болезни; в последнее время за границей рентгеновские лучи получили широкое применение и в технике и промышленности. Изучение рентгеновских лучей привело к целому ряду чрезвычайно важных чисто научных открытий, оно повело к значительному углублению и расширению наших знаний о строении вещества, об атомах и молекулах, наконец о кристаллах.

Задача этой книжки — дать ответ на два основных вопроса: что такое рентгеновские лучи и как их получают. Попутно в ней придется затронуть целый ряд общезначительных вопросов. Читателю временно может быть будет казаться, что изложение слишком далеко удаляется от основной темы, но это неизбежно. Понять природу рентгеновских лучей можно только при одном предварительном условии — нужно разобраться в сходстве и отличии этих лучей от других физических явлений, нужно отдать себе ясный отчет о положении этих лучей в ряду других явлений природы.

Г л а в а I.

ПРОХОЖДЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА ЧЕРЕЗ ГАЗ. ПОЛУЧЕНИЕ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ И ИХ СВОЙСТВА.

1. Открытие Рентгена. Открытию рентгеновских лучей помогла чистая случайность. Лет тридцать тому назад (в 1895 г.) немецкий физик Рентген заметил странное явление — лежащий в его лаборатории кусок картона, покрытый особым веществом (платиново-сибиродистым барием), начинал светиться всякий раз, когда вблизи него через стеклянную трубку с разреженным воздухом пропусклся электрический ток. Какое, казалось бы, ничтожное обстоятельство, а между тем к таким необычайной важности следствием оно повело! Повстие, судьбу нового открытия предсказать нельзя, как нельзя предсказать и судьбу новорожденного ребенка. Велика заслуга Рентгена, что, заметив загадочное свечение, он не прошел мимо него, пожав плечами, как сделал бы в подобном случае большинство из нас, а стал внимательно искать его причину.

Давно уже было известно, что платиново-сибиродистый барий обладает еще одним замечательным свойством — если осветить его ярким белым или синим светом, то он начинает испускать слабое зеленое свечение. Но свечение, замеченное Рентгеном, происходило даже при полной темноте, даже тогда, когда прибор, служивший

для пропускания тока через газы, был тщательно закрыт черной бумагой. Прделав ряд опытов, Рентген убедился, что свечение это вызывается особомго рода лучами, которые были потом названы рентгеновскими и которые возникают при электрическом разряде через разреженный газ. Подобно свету лучи эти распространяются по прямым линиям; они невидимы для глаза, но их легко обнаружить по их свойствам: они вызывают свечение не только платиново-сиеродрасного бария, но и некоторых других тел (например уранового стекла); на фотографическую пластинку они действуют совершенно так же, как и обыкновенные световые лучи. Но самое удивительное свойство лучей, это — их необыкновенная проникающая способность. Они легко проходят через бумагу, дерево, человеческое тело, так что с их помощью можно делать снимки, не вынимая фотографической пластинки из бумажной обертки или деревянного футляра (кассеты). Вообще для них прозрачно большинство тел; только слой очень тяжелого металла (свинца, платины), да и то если он не слишком тонок, непроницаем для рентгеновского луча.

Когда мы только что упомянули об электрическом токе, проходящем через газы, у читателя, вероятно, возник недоумевный вопрос — каким же образом электричество может проходить через газ? Ведь обычно считают, что оно может течь только по металлам, во всяком случае по твердым или жидким телам, но никак не через воздух или другие газы. Действительно, электрический ток или электрический разряд через газ отличается от обыкновенного тока, текущего по проводам, целым рядом особенностей. Чтобы понять, как и почему возникают рентгеновские лучи в рентгеновской трубке, нам прежде всего нужно познакомиться со свойствами тока, проходящего через газ.

2. Электрический разряд через газ. Есть один простой случай электрического разряда через газ, который всем хорошо известен, это — электрическая искра. Если приблизить друг к другу два противоположно заряженных тела, например два провода, идущие от электрической батареи или от динамомашинны, то между ними проскочит искра. На близком расстоянии притяжение между положительным и отрицательным электричеством так велико, что электричество, как говорят, преодолевает сопротивление воздуха и перескакивает через воздушный промежуток. Чем сильнее заряжены тела, тем больше будет взаимное притяжение электричества, и тем больше будет длина искры. Самая длинная и величественная из всех искр, это — молния; треск этой громадной искры, проскакивающей между землей и облаками (или между двумя облаками), доносится до нас перекатами грома. Что же в сущности представляет собой искра и вообще разряд через газы, и каковы его отличительные особенности?

Прежде всего бросается в глаза, что прохождение электричества через газы происходит с несравненно большим трудом, чем прохождение и протекание его по металлам. На первый взгляд может показаться, что причина этого заключается в чрезвычайно малой плотности газов по сравнению с другими телами. Правильность этого объяснения легко можно проверить на опыте: если наша догадка правильна, то уменьшение плотности воздуха между заряженными телами должно еще больше затруднить разряд (появление искры). Посмотрим же, что происходит в действительности.

При изучении влияния плотности газа на разряд через него удобно пользоваться так называемой разрядной трубкой (рис. 1).

В широкую стеклянную трубку наглухо впаивают две

проводами $\mathcal{B}$ и $\mathcal{B}$, которые называются электродами. Зарядая эти провода противоположными электрическими, можно вызвать между ними искру. В разрядной трубке имеется кроме того стеклянный отросток — трубочка O , которую резиновой трубкой можно соединить с воздушным насосом. Если пустить насос в ход, то он ставит через этот отросток O выкачивать воздух из всей разрядной трубки. По мере того как воздуха в трубке становится все меньше и оставшийся воздух становится все более разреженным, меняется вид разряда: искра становится все более широкой и расплывчатой, а вместе с тем и более спокойной, бесшумной; раньше вспыхивала ярким светом только узенькая полоска между электродами, теперь свечение расплывается по всей внутрен-



Рис. 1. Разрядная трубка

ности разрядника. На рис. 2 приведен снимок с разряда при обычной плотности воздуха (искра), а на рис. 3 — различные виды разряда в удлиненной трубке при различных давлениях воздуха в ней¹⁾; на этих рисунках хорошо видно свечение газа в трубке. Свечение это бывает очень красивым; цвет его зависит от плотности и состава газа: в воздухе оно розовое или синеватое, в водороде красноватое и т. д.

На рис. 2 приведен снимок с разряда при обычной плотности воздуха (искра), а на рис. 3 — различные виды разряда в удлиненной трубке при различных давлениях воздуха в ней¹⁾; на этих рисунках хорошо видно свечение газа в трубке. Свечение это бывает очень красивым; цвет его зависит от плотности и состава газа: в воздухе оно розовое или синеватое, в водороде красноватое и т. д.

1) Вместо того чтобы говорить о разреженном и о сгущенном воздухе, говорят о воздухе „при малом или при большом давлении“, потому что, чем сгущеннее воздух, тем больше его давление, и наоборот. Давление воздуха измеряется в атмосферах. Окружающий нас воздух имеет нормальное давление в одну атмосферу.

Для того чтобы разряды через газ было удобно изучать, стараются сделать так, чтобы они непрерывно следовали друг за другом. Для этого электроды разрядника соединяют проводами с каким-нибудь источником электричества (электрической машиной), который непрерывно посылает в них электричество. Как только искра

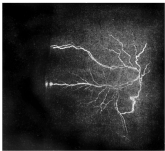


Рис. 2. Электрическая искра

(или тихий разряд) разрядит электроды, так источник электричества подает в них новые порции электричества и вновь зарядит их; разряд будет таким образом непрерывно повторяться.

При изучении разрядов через газ источником электричества служит обыкновенно так называемая индукционная катушка, изображенная на рис. 4. Эта катушка

представляет очень своеобразную электрическую машину. Сама по себе она электричества вырабатывать не может, и, чтобы привести ее в действие, через нее нужно про-

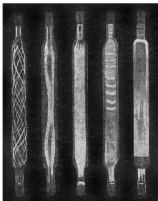


Рис. 3. Изменение вида разрядного свечения при изменении давления воздуха. В крайней левой трубке давление в десятки раз меньше атмосферного; в крайней правой давление еще в тысячи раз меньше.

пустить электрический ток из какого-нибудь другого источника (из городской электрической сети, батарей аккумуляторов и т. д.).

Почему же в таком случае не обойтись без индукционной катушки и не подвести городской ток прямо к электродам разрядной трубки?

Для того чтобы ответить на этот вопрос, нам придется сделать небольшое отступление. Когда мы до сих пор говорили о „сильно заряженных телах“, мы выражались не совсем точно; надо было бы говорить: „тела под большим электрическим напряжением“.

Электрический ток можно сравнить с потоком воды: вода течет оттуда, где ее уровень выше, туда, где уровень ниже; об электричестве тоже можно сказать, что оно течет из мест большого „электрического уровня“ в места низкого „электрического уровня“. Обилие положительного электричества повышает электрический уровень (или, как его еще иначе называют, потенциал), обилие отрицательного — понижает его. Разница электрических уровней между двумя телами называется электрическим напряжением. Подобно тому как напор воды (разница уровней воды) измеряется в метрах, так электрическое напряжение измеряется в вольтах. Чем больше напряжение между концами металлического провода, тем более сильный электрический ток будет по нему протекать.

Роль индукционной катушки состоит в том, что она повышает напряжение тока.

Обычно городской ток имеет напряжение в 120 или



Рис. 4. Индукционная катушка. К клеммам А и К подводится ток низкого напряжения, между клеммами Р и Q получается высокое напряжение.

220 вольт. Это значит, что если к двум телам присоединить два провода городской сети и таким образом зарядить их электричеством, то разность электрических уровней между этими телами (электрическое напряжение) будет равна 120 или 220 вольтам. Если же городской ток пропустить через индукционную катушку, а заряжаемые тела соединить проводами с укрепленными на катушке зажимами, то эти тела зарядятся значительно сильнее: электрическое напряжение между ними может достигнуть (в зависимости от величины катушки) десятков и даже сотен тысяч вольт. Поэтому к помощи катушки прибегают во всех тех случаях, когда нужно получить большое электрическое напряжение, а это как раз и требуется для получения разряда через газ ¹⁾. Электрический ток проходит через газы с гораздо большим трудом, чем через металлические провода. Для того чтобы ток прошёл через газы, необходимо, чтобы между электродами было очень большое электрическое напряжение; при малых напряжениях разряд через газ вовсе не происходит.

Но как же все-таки влияет плотность воздуха на электрический разряд, и правильно ли наше предположение, что разрежение воздуха затруднит прохождение электричества через него? Нет, оказывается, что если выкачать воздух из разрядной трубки, то разряд между электродами будет происходить вопреки нашим ожиданиям легче, чем в обычном воздухе. Другими словами, искра будет появляться при меньших электрических напряжениях, чем в воздухе обычной плотности, или еще иначе: при одном и том же электри-

¹⁾ В последнее время в реактивных кабинетах индукционная катушка все чаще и чаще заменяется трансформатором — более совершенной машиной, выполняющей по существу те же функции.

ческом напряжении искра появится в разреженном воздухе уже при таком расстоянии между электродами, при котором она еще не может возникнуть в обыкновенном воздухе при обычном давлении.

Стало быть трудность прохождения электричества через газы не может объясняться их малой плотностью, наоборот, уменьшенная плотность газов облегчает разряд. Чтобы объяснить это странное на первый взгляд явление и уяснить себе, что именно происходит в газе при разряде и чем вызывается его свечение, нужно сначала познакомиться с общим вопросом о строении газов.

3. Молекулы и их строение. Большинство читателей знает, что газы, как, впрочем, и все тела, состоят из скопления колоссального количества мельчайших частиц, называемых молекулами. Чтобы представить себе, какое громадное число молекул заключается даже в самом незначительном объеме, достаточно привести только одно сравнение. Предположим, что когда-нибудь будет найден способ пересчитывать молекулы по одиночке и что человек сможет отсчитывать по одной молекуле в секунду. Если бы мы тогда захотели пересчитать молекулы воздуха, находящиеся в объеме одного только капертка и за этот подсчет пришлось бы все население СССР и стар и млад и считало бы молекулы беспрерывно, и днем и ночью, то этот подсчет кончился бы лишь через четыре тысячи лет!

Какую в сущности неисобразимо сложную картину представляет собой даже самая маленькая порция газа! Ведь этот бесчисленный рой молекул никогда не находится в покое. Каждая молекула движется с громадной скоростью, сталкивается с другими молекулами, описывает в своем движении самые причудливые фигуры. Молекулы эти невероятно малы: каждая из них при-

близительно во столько раз меньше яблока, во сколько яблоко меньше всего земного шара. И все-таки каждая из этих мельчайших молекул в свою очередь обладает сложным строением. Дело не только в том, что молекулы большинства газов состоят из нескольких—двух, трех—меньших частей, так называемых атомов, нет, помимо того каждая молекула и каждый атом состоит в свою очередь из еще гораздо более мелких частиц—частиц электричества.

Все тела состоят из атомов и молекул, а все атомы и молекулы—из частиц положительного и отрицательного электричества. Все наши знания и наблюдения говорят за то, что частицы электричества, это—уже самые малые из всех существующих частиц, что их уже невозможно разделить на еще более мелкие части. Все одинаково заряженные частицы электричества совершенно одинаковы между собою. Эти частицы электричества могут быть по справедливости названы основными кирпичиками мироздания—в конечном счете из них, и только из них, построены все без исключения молекулы всех тел и вещества. Различные молекулы отличаются только числом и расположением входящих в их состав частиц электричества. Если вдуматься в то, что несмотря на невообразимую малость этих частиц человеку все же удалось определить строение молекул различных веществ, то нельзя не преклониться перед силой и мощью человеческой мысли. Ведь размеры частиц электричества действительно ничтожны. Вообразите на минуту, что вы захотели бы построить точную модель обыкновенной электрической лампочки вместе с наполняющим ее газом, и притом модель таких размеров, чтобы простым глазом можно было рассмотреть строение молекул этого газа. Вам пришлось бы для этого построить модель, увеличенную в триллион

раз! Такая модель лампочки зашла бы по длине расстояние от земли до солнца, модель каждой молекулы имела бы около полуверсты в поперечнике, а частицы отрицательного электричества, так называемые электроны, были бы величиною всего лишь с муху (частицы положительного электричества были бы еще гораздо меньше).

Пора, однако, ответить на вопрос, который, вероятно, уже появился у внимательного читателя: если все тело состоит из частиц электричества, то почему же в большинстве тел мы не замечаем никаких электрических свойств? Только потому, что нормально в каждой молекуле столько же частиц положительного, сколько и отрицательного электричества. Так как действия положительного и отрицательного электричества противоположны, то электрическое действие различных частей молекулы взаимно уничтожается.

Предположим теперь, что от молекулы или атома почему-либо оторвалась одна из электрических частиц. (Обыкновенно отрывается одна из отрицательных частиц — электронов, частицы же положительного электричества держатся в атоме так крепко, что оторвать их из него почти невозможно.) В оставшейся части молекулы будет больше положительных частиц, чем отрицательных, и она будет поэтому положительно заряженной. Вообще всякое заряженное тело потому именно и является заряженным, что в нем имеется или избыток электронов, т. е. электронов больше, чем частиц положительного электричества (отрицательный заряд), или, наоборот, недостаток электронов (положительный заряд).

Теперь мы можем понять, что представляет собой обыкновенный электрический ток. Если два противоположно заряженных тела соединить проводом, то из того тела, где электронов избыток (отрицательный заряд),

электроны потекут туда, где их недостаток (положительно заряженное тело). В результате тела разрядятся, или, как говорят, электрические заряды их исчезнут. В действительности частицы электричества, конечно, не исчезнут, но в каждом теле число частиц положительного и отрицательного электричества уравнивается, и их противоположные электрические влияния уравновесят друг друга.

4. Еще об электрическом токе через газы. После этого отступление нам уже нетрудно будет понять сущность электрического тока через газы. Если два заряженных тела разделены воздушным промежутком, то разряда обычно не происходит, потому что из отрицательно заряженного тела избыточные электроны выйти наружу, в воздух, не могут. Разряд через воздух происходит только при сравнительно больших электрических напряжениях; при этом электричество переносится из одного тела (электрода) к другому не теми электронами, которые находятся в самом теле (как это имеет место при соединении заряженных тел проводом), а теми электрическими частицами, которые образуются при расщеплении молекул воздуха.

Дело в том, что время от времени от нормальных молекул воздуха под влиянием различных причин¹⁾ отрываются отрицательные электроны. Правда, при обычных условиях число молекул, потерявших электроны и потому ставших положительно заряженными, чрезвычайно мало; кроме того оторвавшиеся электроны и положительные остатки молекул притягиваются друг к другу, как и всегда притягиваются разно заряженные тела. Поэтому очень скоро после расщепления

¹⁾ Действие ультрафиолетовых лучей (стр. 62), каление радиоактивных веществ, сонда присутствующих в воздухе, и т. д.

молекулы на части, части эти вновь соединяются и снова образуют нормальную молекулу. Но если в воздухе поместить два заряженных тела — два электрода, то положительно заряженное тело — положительный электрод — притянет к себе отрицательные частицы (электроны), а отрицательный электрод притянет положительные части расщепленных молекул. От этого заряд каждого электрода уменьшится; например на положительном электроде притянутые к нему отрицательные электроны своим влиянием уравнивают часть противоположного влияния положительного электричества, и нам будет казаться, что положительного электричества на этом электроде стало меньше. В этом и состоит разряд через газ (см. рис. 5).

Но если все это верно, то почему же тогда с таким трудом происходит разряд через газ? Ведь если в воздухе всегда присутствуют заряженные части расщепленных молекул (они называются ионами), то, казалось бы, разряд должен происходить очень легко и при всех обстоятельствах. Ответ прост — обычно в воздухе (и в других газах) так мало заряженных ионов, что даже если они все и притянутся к электродам, то уменьшение заряда электродов все же останется совершенно незаметным. Правда, процесс расщепления все новых и новых молекул на заряженные части (ионизация) продолжается непрерывно, но протекает он чрезвычайно медленно; столь же медленно и незаметно происходит и разряд заряженных тел в воздухе при обычных условиях.

Чтобы ускорить разряд, нужно, очевидно, увеличить число находящихся в воздухе заряженных частиц. Каким же образом можно этого достигнуть? Мы уже говорили, что если электроды сильно заряжены (находятся под большим электрическим напряжением), то происходит бурный разряд — искра. Дело в том, что сильно зар-

женные электроды очень сильно притягивают к себе заряженные части расщепленных молекул. Чем больше притяжение электродов, тем быстрее летят к ним заряженные частицы. При очень сильном притяжении скорость движения заряженной частицы может стать столь большой, что, налетая по дороге к электроду на

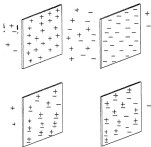


Рис. 5. Схема частичного разряда через газ. Плюсы (+) обозначают положительные заряды, минусы (-) — отрицательные. Наверху схематически изображено состояние до разряда: между двумя параллельно заряженными металлическими пластинками (электродами) находятся заряженные части расщепленных молекул воздуха. Внизу частичный разряд совершился: заряженные частицы притянулись к пластинкам и частично уравновесили взаимный их заряд.

нормальные целые молекулы, она станет разбивать их на части. Из подвергнувшейся удару и разбитой молекулы вновь образуются две частицы — отрицательный электрон и положительный остаток. Эти части в свою

очередь подпадают под притяжение электродов, летит к ним, разгоняется и разбивает на своем пути новые молекулы (ионизация ударник).

Происходит нечто подобное обвалу. Брошенный с горы камень катится, разгоняется все больше и больше, увлекает на своем пути все новые камни, которые в свою очередь разгоняются, сталкиваются сами все попадающиеся им на дороге, пока в конце концов не образуется лавина. Только при обвале все камни катятся в одном направлении — вниз, тогда как в случае электрического разряда часть заряженных частиц — электроны — летят к положительному электроду, а другая часть — положительные остатки расщепленных молекул — летят к отрицательному электроду. Вот это-то все нарастающая лавина летящих к электродам заряженных частиц и переносит электричество через газ при искровом разряде.

Теперь мы сможем понять, почему в разреженном воздухе разряд происходит с большою легкостью, чем в обыкновенном.

Ведь для того, чтобы заряженная частица разбила нормальную молекулу на части, ей нужно достаточно сильно разогнаться.

Если воздух плотный и молекулы его расположены близко друг к другу, то заряженная частица, только начав двигаться к своему электроду, сейчас же столкнется с какой-нибудь молекулой и потеряет свою скорость. Все снова и снова будет начинать свое путешествие к электроду заряженная частица, но сквозь густую толпу молекул она будет проходить с задержками и остановками и никогда не накопит достаточно сил, чтобы разбить на части встречную молекулу — разве только сила притяжения электродов будет уже очень велика, т. е. велико будет электрическое напряжение. Так и в нашем примере с обвалом; если на склоне горы

камней лежит очень густо, то один брошенный сверху камень, задерживаясь на пути и отскакивая от препятствий, будет идти вниз не достаточно быстро и не сможет вызвать обвала — разве только крутизна горн будет уж очень велика.

Напротив, в разреженном воздухе, где расстояние между молекулами сравнительно велико, заряженные частицы реже сталкиваются со встречными молекулами и в промежутках между столкновениями успевают накопить достаточную скорость, чтобы расщепить их на части.

Это объяснение подтверждается также некоторыми особенностями разрядного свечения. В зависимости от условий (давление газа, его состав и т. д.) свечение газом во время разряда может иметь самый разнообразный вид и характер. Часто можно наблюдать так называемое полосатое свечение, изображенное на втором справа снимке на рис. 3. Свечение газа здесь не сплошное, а состоит из ряда светлых полос, отделенных более темными промежутками. Дело в том, что причиной свечения газа обыкновенно (хотя и не всегда) является сильное сотрясение его молекул¹⁾. Во время разряда летящие к электродам заряженные частицы ударяют о молекулы и приводят их в сотрясение, а подвергнувшись сотрясению молекулы испускают свет. Для того чтобы молекула начала светиться, необходимо, чтобы сотрясение ее было достаточно сильным — слабый удар о молекулу никакого свечения не вызовет. Легко догадаться (это можно и доказать), что при полосатом свечении заряженные частицы разгоняются на протяжении темных промежутков; при этом частицы приобретают достаточную скорость для того, чтобы около светлых полос ударить встречную молекулу так сильно, чтобы она от вызванного этим

¹⁾ Этот вопрос мы подробнее рассмотрим в главе II.

ударом сотрясения засветилась. При ударе заряженная частица теряет свою скорость, вновь начинает разгоняться в следующем темном промежутке на пути к своему электроду, и снова повторяется прежняя история. Эти светящиеся полосы бывают очень красивы; иногда можно наблюдать одновременно несколько десятков таких тонких переливающихся полос.

Итак, при электрическом токе через газ электричество переносится от одного электрода к другому ионами, т.е. заряженными частицами — отрицательными и положительными, которые образуются при расщеплении молекул самого газа. Напротив, в металлах ток переносится только отрицательными электронами. Внутри металлов — в этом их характерная особенность — всегда имеется большое число „свободных“ электронов, т.е. электронов, оторвавшихся от своих атомов и молекул. Электроны эти легко приходят в движение под влиянием даже очень слабых электрических сил и переносят в нужном направлении электричество. Стало быть для прохождения тока через металл вовсе нет нужды в ионизации ударами, ибо „свободные“ электроны в металле всегда готовы для переноса электричества. Поэтому-то электрический ток проходит через металлы с гораздо большей легкостью, чем через газы.

Б. Катодные лучи. Рассказывая о свечении газа в разрядной трубке, мы говорили до сих пор только об обыкновенном свечении, об испускании обыкновенного света, видимого человеческим глазом. Для того же, чтобы получить невидимые рентгеновские лучи, нужно еще больше уменьшить давление (плотность) газа в разряднике. Как уже говорилось, выкачивание воздуха из разрядной трубки облегчает возникновение разряда. Но это давление не продолжается бесконечно: при некоторой опре-

дальной плотности (давлении) газа разряд будет происходить с наибольшей легкостью, дальнейшее же разрежение газа будет вновь затруднять разряд.

Эта „завлущая“ степень разрежения зависит от многих условий и обстоятельств. В разряднике обычных размеров разряд происходит легче всего при давлении воздуха в несколько тысяч раз меньшем обычного атмосферного давления (т.е. когда в разряднике остается в несколько тысяч раз меньше воздуха, чем было в нем до начала откачки). Дальнейшее уменьшение плотности воздуха будет уже не облегчать, а затруднять возникновение разряда. Другими словами, для получения разряда нужно будет применять все большее и большее электрическое напряжение.

Причину этого легко понять. Трудность разряда через воздух обычной атмосферной плотности объясняется ведь тем, что молекулы расположены в нем слишком густо; поэтому в промежутке между двумя столкновениями летящие к электроду заряженные частицы не успевают достаточно разогнаться, чтобы ударом своим разбить на части встречные молекулы. Разрежая газ, мы увеличиваем длину свободного пути заряженной частицы и даем ей возможность накопить за время свободного полета необходимую скорость. Чем меньше плотность газа, тем больше сила удара электрической частицы, и тем большая доля столкновений приведет к расщеплению встречаемых молекул. Но представляйте себе, что мы достигли такого разрежения газа, при котором уже каждое столкновение электрической частицы с молекулой приводит к расщеплению последней. Тогда дальнейшее уменьшение плотности газа поведет уже не к облегчению разряда, а к его ослаблению. Действительно, чем меньше будет молекул, тем меньше будет столкновений с ними, и следовательно тем меньше

будет образовываться заряженных частичек из расщепленных молекул; сила электрического тока уменьшится.

По мере уменьшения плотности (давления) газа и уменьшения силы тока продолжает изменяться и характер разряда: свечение становится более слабым (уменьшение числа ударов о молекулы); вместо того, чтобы занимать всю разрядную трубку, оно сосредоточивается у электродов, а посредине трубки возникает и все увеличивается темное пространство. Наконец внутри трубки продолжает светиться только небольшая шапочка около электродов. Одновременно с этим появляется новое очень красивое явление — стекло трубки начинает светиться ярким зеленым светом. Особенно ярко светятся стенки трубки, лежащие против отрицательного электрода (т. е. электрода, заряженного отрицательным электричеством), который в отличие от положительного электрода называется катодом.

Это свечение, как оказывается, вызывается ударами быстро летящих электронов о стенки трубки. „Свободные“ электроны образуются на всем пути разряда: они представляют собою осколки расщепленных молекул; особенно же много образуется их около отрицательного электрода или катода. Возникшие вблизи катода электроны отталкиваются им (ибо и катод и электроны заряжены одинаково — отрицательно) и с большой скоростью разлетаются от него по прямым линиям. Если плотность газа велика и молекулы в нем расположены густо, то отлетающий от катода электрон на своем пути много раз сталкивается со встречными молекулами, вследствие чего его скорость быстро убывает. Правда, и вдали от электродов на него будут действовать электрические силы (притяжение и отталкивание), но силы эти уже не будут так велики, как непосредственно возле электродов. Поэтому, если после многих столкновений электрон и дой-

дет случайно до стеклянных стенок и ударится о них, то сила его удара будет уже слишком мала, чтобы вызвать свечение стекла. Если же плотность газа мала, то некоторым электронам, возникшим около катода, удастся долететь до стенок почти без столкновения и сильным ударом вызвать зеленое свечение стекла. Цвет свечения зависит от сорта стекла: некоторые стекла светятся не зеленым, а голубым, красноватым и т. п. светом. Чем меньше плотность газа, тем сильнее свечение стеклянных стенок, и тем слабее свечение газа в трубке (ибо тем меньше столкновений с молекулами газа). При очень малых давлениях внутри трубки слабо светится только узкая прямая полоска, начинающаяся у катода, — эта полоска отмечает собою путь летящих электронов⁹⁾. Этот поток летящих от катода быстрых электронов получил название катодных лучей.

Приведенное объяснение свечения стекла очень просто, но правильно ли оно? Да, правильно, и это можно подтвердить опытами. Удвоим же здесь только о двух из них. Если на пути между катодом и стенками трубки поставить какое-нибудь препятствие, например металлический крест (рис. 6), то этот крест задержит попадающие на него катодные лучи (летящие электроны). Так как катодные лучи распространяются по прямым линиям, то на лежащий за крестом участок стенок электроны попадать не смогут, и этот участок останется темным. Напротив, смежные с ним участки стекла будут светиться под ударами электронов; другими словами, крест отбросит

⁹⁾ Читатель заметил, вероятно, что в последние время речь идет только об отрицательных электронах, а не о положительных ионизированных остатках распадающихся веществ. Это объясняется тем, что электроны гораздо подвижнее положительных частиц — их масса (вес) несравненно меньше. Поэтому именно они и играют основную роль в описываемых явлениях.

„тень“ на стенку трубки. Еще один опыт: если перед светящимся участком стекла укрепить внутри трубки маленький металлический сосуд, то электроны будут падать в него и, оставаясь на его стенках, будут заряжать их отрицательным электричеством. Этот опыт был сделан французским ученым Перреном и удался блестяще — в металлическом сосуде не только появлялся отрицательный заряд, но и величина этого заряда вполне соответствовала теоретическим предсказанием.

Итак, под влиянием удара быстрых электронов, стекло начинает светиться. Будут ли, однако, светиться под влиянием этих ударов и другие тела, например металлы? Что случится, если катодные лучи будут ударяться не о стенку трубки, а об металлический положительный электрод?

Никакого свечения металла при этом не замечается, разве только электронов будет так много, и удары их будут так сильны, что этими ударами они нагреют электрод (как можно нагреть ударами молота кусок железа) и он раскалится. Чтобы избежать сильного нагревания положительного электрода (его называют *антикатодом*, что значит — „противоположный катоду“), его приходится охлаждать; для этого иногда с наружной стороны антикатада наливают холодную воду (см. рис. 11 на стр. 34). Простым глазом никакого свечения холодного антикатада не заметно (может светиться только

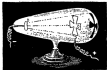


Рис. 6. „Тень“ металлического сосуда, помещенного на пути катодных лучей. Разумея этот не совсем точный, в действительности участок трубки, лежащий за катодом (справа), не светится, так как на нее катодные лучи почти не падают.

прилегающий к нему слой газа), но зато, если удары катодных лучей о него достаточно сильны, то из антикатада начинают исходить те невидимые рентгеновские лучи, которые были открыты Рентгеном в 1895 г.

Как мы уже говорили, эти невидимые лучи могут быть обнаружены по их действию на фотографическую пластинку, по свечению, которое они вызывают в некоторых телах, и т. п.

6. Устройство рентгеновской трубки. Некоторые свойства рентгеновских лучей. Итак, удар катодных лучей (электронов) о металл вызывает рентгеновское, невидимое глазом, свечение этого металла, подобно тому как удары о стекло или о молекулы газа вызывают видимое свечение стекла и газа ¹⁾. Это сходство не случайно; мы увидим в дальнейшем, как много общего между видимым и невидимым, или рентгеновским, „светом“.

Существенное отличие состоит только в том, что для получения рентгеновских лучей нужна гораздо большая сила ударов электронов, чем для получения видимого свечения. Поэтому из разрядных трубок, предназначенных для получения рентгеновских лучей (их называют рентгеновскими трубками), приходится особенно тщательно откачивать воздух, чтобы уменьшить число столкновений электронов с молекулами; обычно в рентгеновских трубках давление газа колеблется от $1/100\,000$ до $1/1\,000\,000$ доли атмосферного давления. При таких малых давлениях (плотностях) разряд происходит только при очень большом электрическом напряжении между электродами (большой разнице электрических уровней между ними), так что обычно в рентгеновской трубке электрическое напряжение между электродами доходит

¹⁾ Под ударом катодных лучей стекло и другие вещества тоже испускают рентгеновские лучи, но слабее, чем металлы.

до 25—100 тысяч вольт. При таких больших напряжениях на электродах действуют очень большие силы электрического отталкивания и притяжения; поэтому они приобретают очень большую скорость, а стало быть и удары их становятся очень сильными. Таким образом уменьшение плотности газа в трубке вдвоем влияет на

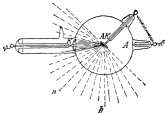


Рис. 7. Рентгеновская трубка отличается от обыкновенной разрядной трубки (фиг. 1) только некоторыми деталями. *K* — отрицательный электрод (катод); *AK* — положительный (анод); *A* — третий дополнительный электрод (анод), к помощи которого приходится прибегать при изготовлении трубки. Сами собой катод — стеклянный стержень, через который выкачивается воздух из трубки при ее изготовлении, после чего этот стержень заливается. Сплошными линиями изображены катодные луча, ударяющие об анод; прерывистыми линиями — рентгеновские луча, исходящие из анода.

скорость электронов: во-первых, оно уменьшает число столкновений, во-вторых, требует повышения электрических сил (напряжения).

Надо сказать, что по мере уменьшения плотности газа и увеличения силы ударов электронов уменьшается не только количество испускаемых рентгеновских лучей,

но также и свойства этих лучей. Подобно тому как лучи видимого света не все одинаковы (они отличаются, например, своим цветом), так и различные рентгеновские лучи могут отличаться друг от друга некоторыми своими качествами. Это отличие сказывается хотя бы в том, что различные рентгеновские лучи не одинаково хорошо проходят через встречающиеся им на пути препятствия: для одних из них даже листок бумаги уже совершенно непрозрачен, другие же проникают даже через свинцовые плиты в несколько миллиметров толщиной⁴). Лучи, легко проходящие сквозь различные тела, называются жесткими, те же лучи, которые легко задерживаются и поглощаются, называются мягкими.

Чем меньше давление воздуха в рентгеновской трубке, т. е. чем сильнее удар электронов об антикатод, тем более жесткие лучи испускаются трубкой. Трубку, дающую жесткие лучи, принято называть „жесткой“.

Для различных целей приходится пользоваться трубками различной жесткости. Так, например, при фотографировании скелета человеческой руки врачи пользуются сравнительно мягкими трубками. Почему? При фотографировании рука помещается между рентгеновской трубкой и фотографической пластинкой так, что по пути к пластинке рентгеновским лучам приходится пройти сквозь руку (рис. 8). При этом те лучи, которым пришлось пройти сквозь кости, ослабляются больше, чем лучи, прошедшие сквозь мягкие части руки. Следовательно кости

4 В Америке было установлено несколько случаев, когда „Алуждионды“ рентгеновские лучи, проникавшие из рентгеновского кабинета сквозь стены, пол и потолок, наносили серьезный ущерб здоровью людей, живших в соседстве с кабинетом рентгенов. Конечно, только дальнейшее действие слабых „Алуждионды“ лучей может сказаться на здоровье.

отбросит на фотографическую пластинку более густую тень; во этой именно тени и можно разобрать форму костей (рис. 9). На снимке видны кости руки, окруженные более светлой тенью кожного покрова. Этот

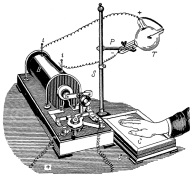


Рис. 8. Производство рентгеновских снимков. Схема индукционная катушка, Т—рентгеновская трубка, С—камера с фотограф. пластинкой. Рисунок дает только общее представление о расположении аппаратов, на практике же применяются значительно более сложной и совершенной аппаратурой.

снимок сделан с помощью сравнительно мягкой трубки, ибо жесткие рентгеновские лучи слишком легко прошли бы через тонкие кости руки и тень от этих костей была бы слишком слабой. Для получения же, например, реат-

геновского снимка черепа (рис. 10) нужно, наоборот, пользоваться сравнительно жесткой трубкой,—иначе лучи совсем не прошли бы через толстые кости черепа, и на снимке получилось бы сплошное пятно густой тени.

Вместо того, чтобы фотографировать внутренности че-



Рис. 9. Рентгеновский снимок руки.

ловека, врачи часто просто „рассматривают“ их. Для этого фотографическую пластинку заменяют стеклинной пластиной, покрытой одним из тех веществ, которые обладают способностью светиться под влиянием невидимых рентгеновских лучей. О таких веществах уже говорилось на стр. 8. Под влиянием рентгеновских лучей светится вся пластинка, кроме тех ее мест, на которые падает тень от костей или от засевших в теле посторонних предме-

тов, например пули. Форма и расположение этих теней и дает возможность рассмотреть внутренности человека; видимая при этом картина ничем не отличается от фотографических снимков, приведенных на рис. 9 и 10.



Рис. 10. Рептильный скелет головы.

После длительной работы рентгеновская трубка обычно изменяет свои свойства. Чаще всего количество воздуха в трубке уменьшается, разряд возникает с большим трудом и при больших электрических напряжениях, чем первоначально, так что трубка становится более жесткой, т. е. испускаемые ею лучи становятся более проникающими. Причина этого явления еще не вполне выяснена. Повидимому под влиянием электрического разряда часть молекул газа прилипает к стенкам трубки, и таким образом, в течение разряда число молекул газа непрерывно уменьшается. Быть может мельчайшие частицы металла, отрывающиеся от электродов во время разряда, садясь на стенки трубки, впитывают в себя молекулы воздуха. Во всяком случае уменьшение давле-



Рис. 11. Рентгеновская трубка. В заводской сверху металлической шар называется вода, которая по металлической трубке проникает до наружной поверхности помещенного в центре рентгеновской трубки антимония и обжигает его. Справа на стрелке над анодом виден регенератор.

ния газа в трубке, ее „поместичекае“ наблюдается очень часто. Поэтому при изготовлении трубок их снабжают особыми приспособлениями, регенераторами¹⁾, с помощью которых в трубку по мере надобности можно впускать небольшие добавочные порции воздуха или другого газа. Форму одного из таких регенераторов можно рассмотреть на рис. 11.

¹⁾ Слово „регенератор“ в переводе означает „возрождающая“.

Иногда, наоборот, в рентгеновской трубке после работы с вакуумом (т. е. после длительного пропуска через нее тока) количество газа увеличивается, и она „выгнётся“. Происходит это потому, что внутри всякого металла всегда находится некоторое количество воздуха и других газов, как бы растворенных в нем. Это остатки тех газов, которые проникли в металл (при его обработке, при плавлении и т. д.). Чтобы избавиться от газов, заключенных в металлических электродах, электроды эти при изготовлении трубки подвергаются накаливанию в безвоздушном пространстве. При высокой температуре растворенные в металле газы из него улетучиваются и немедленно откачиваются воздушным насосом. Если это прокаливание было произведено недостаточно тщательно, то в электродах остается некоторое количество газа. Когда затем готовая трубка идет в работу, то под влиянием бомбардировки электрическими частицами из электродов высвобождается остаток газа, и количество его в трубке увеличивается — трубка „выгнётся“.

Надо сказать, что работа с обычной рентгеновской трубкой вообще связана со многими неудобствами. Помимо того, что после длительной работы трубка если не смянется, то уж несомненно зажестится, помимо этого обыкновенная трубка в зависимости от плотности газа в ней дает рентгеновские лучи только одной определенной жесткости ¹⁾. Поэтому в рентгеновских кабинетах необходимо иметь целый набор трубок различной жесткости, употребляющихся для различных целей. Всех этих неудобств лишены трубки с нагреваемым катодом, так называемые пустотные трубки.

Дело в том, что для получения рентгеновских лучей

¹⁾ Собственно говоря, всякая трубка испускает свет лучей разной жесткости, но среднюю жесткость этих лучей имеет для каждой трубки определенное значение.

существенно ведь только одно: заставить электроны с силой ударяться о поверхность антикатода. Газ в рентгеновской трубке нужен лишь для того, чтобы постоянно возобновлять запас электронов: ударившиеся об антикатод электроны застревают в нем, и их нужно заменять новыми электронами из вновь расщепленных молекул газа. Но нельзя ли придумать какой-нибудь другой источник электронов и совсем выкачать весь газ из трубки? Таким путем можно было бы избежать только что описанных неприятных явлений и освободиться от зависимости от капризного поведения газа в трубке.

Эту задачу блестяще разрешил американец Кулидж. Он воспользовался тем обстоятельством, что из поверхности раскаленных металлов беспрерывно выделяются наружу свободные электроны. Мы уже говорили, что внутри всех металлов всегда имеются свободные (оторвавшиеся от молекул) электроны. Благодаря именно этим электронам металлы так хорошо проводят электрический ток. Но выйти из металла наружу эти электроны могут только при высокой температуре. Когда вы зажигаете электрическую лампочку, то из накаляющейся ее нити вылетают электроны и садятся на внутреннюю поверхность стекла. Во время горения лампочки из проволоки все время вылетают новые электроны, но они отталкиваются ранее вылетевшими электронами (ибо все электроны заряжены одинаково — отрицательно) и потому возвращаются обратно в проволоку. Что же случится, если в электрическую лампочку поместить металлическую пластинку и отдельным проводом соединить ее, скажем, с землей? Тогда садящиеся на пластинку электроны будут беспрерывно стекать по этому проводу в землю, а на их место будут приходить другие. Иначе говоря, по проводу потечет электрический ток. Электроны, выделяющиеся из накаленных тел, имеют по сравнению

с катодными лучами очень малую скорость, но стоит только зарядить металлическую пластинку положительным электричеством, и она станет притягивать к себе электроны и ускорять их движение. Таким путем легко добиться сильных ударов электронов о пластинку, под влиянием которых пластинка станет испускать рентгеновские лучи.

Эта простая мысль и нашла себе применение в трубках Кулиджа, устройство которых изображено на рис. 12. Из этих трубок выкачан весь газ по возможности без остатка¹⁾. При работе с ними необходимо пользоваться вспомогательным источником тока, например аккумуля-

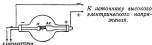


Рис. 12. Чертеж трубки Кулиджа.

торами, которые доставляют вспомогательный „ток накала“. Этот ток проходит через металлическую нить *Н* и раскаляет ее добела. Нить эта является источником электронов и вместе с тем служит катодом; антикатодом же служит металлическая пластинка *АК*. Как и в обыкновенной трубке оба электрода — катод и антикатод — соединяются с источником тока высокого напряжения. На рис. 13 приведен снимок с такой трубки²⁾.

¹⁾ Немного газа, конечно, всегда остается, но его так мало (равно в 10 меньше, чем в обыкновенных, так наз. „газовых“, рентгеновских трубках), что он уже не оказывает влияния на разряд.

²⁾ Способность накаленных металлов испускать электроны используется помимо трубок Кулиджа также и в радиографии, в так наз. усилительных, или катодных, линиях.

Трубка Кулиджа обладает рядом преимуществ и в последнее время быстро вытесняет прежние трубки с газом. Одна и та же трубка Кулиджа может давать лучи любой жесткости: для этого нужно только изменить соответствующим образом напряжение между ее электродами. Изменением силы тока накала можно регулировать число испускаемых катодом электронов, а следовательно и количество излучаемых трубкой рентгеновских лучей. Наконец самое важное преимущество трубки Кулиджа состоит в том, что не может быть и речи о ее



Рис. 13. Трубка Кулиджа.

пожесточенности, ибо газа в ней почти совсем нет, и для работы трубки он вовсе не нужен.

Упомянем кратко еще об одном свойстве рентгеновских лучей.

Мы знаем уже, что лучи эти действуют на фотографическую пластинку и что они вызывают свечение некоторых тел (см. стр. 8). Помимо этого рентгеновские лучи могут еще оказывать разрушающее влияние на молекулы различных веществ. Попадая, например, на металлическую пластинку и поглощаясь в ней, они могут вырвать и выбросить из молекулы металла один из электронов, входящих в состав этой молекулы. Электроны эти вылетают из пластинки с очень большой скоростью — с такой же скоростью, с какой летят элект-

троны в рентгеновской трубке, и называются вторичными катодными лучами. Очевидно, что после потери части своих электронов пластина окажется заряженной положительным электричеством.

Проходя через газы и частично поглощаясь в них, рентгеновские лучи также разрушают молекулы газа и расщепляют их на заряженные ионы. Таким образом газ, освещенный рентгеновскими лучами, получает способность проводить электрический ток.

Г л а в а II.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ.

В предыдущей главе мы познакомились со способами получения рентгеновских лучей и с некоторыми их свойствами, но мы еще ничего не говорили о том, что в сущности представляют собой эти лучи. Долгое время после открытия Рентгена в науке шел оживленный спор по вопросу об истинной природе этих таинственных лучей. Но открытие Лауэ, о котором будет речь в главе 3-й, привело к окончательному решению этого вопроса и дало на него очень простой ответ. По существу рентгеновские лучи представляют собой то же, что и обыкновенный видимый свет.

Ответ, конечно, краткий, но не всем он покажется удовлетворительным. В самом деле, как могут невидимые лучи быть похожими на свет? Разве способность быть видимым не является основным характерным свойством света? И если так, то естественно возникает новый вопрос, что же в таком случае представляет собою свет?

И на этот вопрос существует краткий и точный ответ: свет представляет собою электрические колебания, или волны ¹⁾. Однако это определение

¹⁾ Точнее — электромагнитные колебания, потому что изменение электрической силы всегда сопровождается появлением магнитных сил, и обратно. Несмотря на всю важность этого факта я, чтобы не перегружать изложения, в дальнейшем пока не буду касаться магнитной стороны световых волн.

мало что говорит неспециалисту. Что такое волна на воде, знает всякий, но что же может быть общего между солнечным светом и морскими волнами? И все же эти, казалось бы, разнородные явления имеют много общего между собой, все они являются особыми видами волнового движения. Волновые движения чрезвычайно широко распространены в природе. Не только свет, но и рентгеновские лучи, и „тепловые лучи“, приносящие нам солнечное тепло, и электрические волны, которыми пользуются при беспроволочном телеграфировании, и, наконец, звук — все эти разнообразные явления представляют собою особого рода волновые движения. Чтобы понять природу света и в частности природу рентгеновских лучей (або природа их одинакова), нам опять придется сделать отступление и разобраться в вопросе об отличительных свойствах волнового движения.

Итак, постараемся ответить на вопрос: что общего между всеми перечисленными явлениями, и почему все они могут быть объединены под общим названием волн и колебаний?

7. Волны на воде и в воздухе. Основные свойства волнового движения. Самый простой и привычный случай волнового движения, это — волны на воде. Всякий хорошо знает, что если в воду бросить камень, то по воде начнут расходиться круги волн. Как ни просто это явление, все-таки часто оно понимается совершенно неправильно. Так, например, часто думают, что гребни волн образуются растеканием воды во все стороны от места падения камня; другими словами, что по мере распространения волны пришедшие в движение частицы воды все дальше и дальше удаляются от места возникновения волн. Однако легко убедиться, что это мнение неправильно. Бросьте на воду какое-нибудь маленькое плавающее тело, пробку, лучинку или лист.

Вы увидите, что когда волна проходит мимо такого поплавка, то он начинает колебаться вверх и вниз, поднимается и опускается, но не удаляется от своего первоначального положения. Движение поплавка только повторяет движение воды под ним, стало быть при прохождении волны частицы воды тоже колеблются вверх и вниз, но не передвигаются вдоль поверхности. Колебание одних частиц воды передается соседним частицам, и таким образом постепенно начинают колебаться все более и более удаленные частицы. В этой передаче колебательного движения и состоит распространение, или движение, волны. Нам кажется, что гребни волны движутся, т. е. что движется вдоль поверхности вода, образующая собою эти гребни или валы; в действительности же это впечатление ложно. Объясняется оно тем, что колебание отдельных частиц воды около своего постоянного положения происходит в строго определенном порядке. На рис. 14 изображен вертикальный разрез покрытой волнами поверхности воды. Предположим, что волны катятся слева направо; тогда, чем правее расположена частица воды, тем позже она начнет колебаться. Стало быть каждая частица будет отставать в своем движении от своей соседки слева и будет опережать своих соседей справа. Так, например, на нашем рисунке частица *а* уже дошла до самой верхней точки своего колебания и начинает опускаться вниз, частица *б* только начинает подниматься вверх, а частица *в* еще даже не успела дойти до низа. Одни частицы запаздывают по отношению к другим, и благодаря этому запаздыванию все частицы располагаются по волновой линии.

Посмотрим теперь, что будет на том же участке воды через небольшой промежуток времени (рис. 15). Частица *а* за это время опустилась до самого низа, частица *б* поднималась до верха, а частица *в* успела опу-

ститься и теперь поднимается. Ни одна частица вправо не передвинулась, но при взгляде на рисунок нам кажется, что волны передвинулись вправо.

Вы видите таким образом, что волна на воде является в действительности вовсе не тем, чем она кажется с первого взгляда. Перечислим же еще раз ее характерные свойства: 1) частицы колеблются около своего начального положения покое; 2) колебания передаются



Рис. 14. Поперечный разрез волны на воде.



Рис. 15. Тот же участок водной поверхности сверху волеколебания.

от частицы к частице; 3) все частицы колеблются с одинаковой быстротой, т. е. совершают одинаковое число колебаний в секунду; 4) движущаяся частица, начиная колебаться покое, запаздывает по сравнению с теми из соседних частиц, до которых волна дошла раньше.

Эти свойства волнового движения на воде характерны для всех видов волн. Рассмотрим, например,

еще один случай волнового движения — звуковые волны в воздухе.

Всякий звук вызывается каким-либо сотрясением, например ударом кулака об стол. Сотрясение стола передается воздуху. Человеческий голос тоже вызывает сотрясение воздуха, т. е. колебание его частиц. Сначала начинают колебаться ближайшие к источнику звука частицы воздуха; это колебание передается соседним частицам и т. д. Каждая частица колеблется около своего первоначального положения, так что вдаль передается только самое движение частиц, их колебание. Когда звуковая волна доходит до человеческого уха, т. е. когда приходит в колебательное движение частицы воздуха, прилегающие к уху, тогда колебание это передается внутренним частям уха, и человек слышит звук.

Доказать, что звук действительно передается колебаниями воздуха, очень легко. Если поместить звонок под плотное прилегающий к столу стеклянный колпак и выкачать из-под колпака воздух, то звук звонка перестанет быть слышимым. Вы будете видеть, как молоточек звонка ударяется об колокольчик, но звука слышать не будете, потому что сотрясение колокольчика не может передаваться к нашему уху через пустое безвоздушное пространство ⁵⁾.

Несколько труднее доказать, что при передаче звука через воздух в нем происходит волновое движение его частиц. Я расскажу только об одном опыте. В звуковой волне частицы воздуха колеблются не вверх и вниз, как в случае волны на воде, а назад и вперед вдоль направления распространения звука; при этом частицы

⁵⁾ Впрочем звук может передаваться не только воздухом и газам, но и твердым и жидкими телами.

воздуха местами сближаются, местами же удаляются друг от друга. Те места, где частицы воздуха в данный момент сблизились, можно сравнить с гребнем волны, а те места, где они разошлись, со впадиной волны. Как гребни волн „бегут“ по поверхности воды, так и эти сгущения и разрежения воздуха передвигаются вдаль от места возникновения звука. Конечно сгущения и разрежения воздуха не видны человеческому глазу, но с помощью особого способа удалось их сфотографировать. На рис. 16 приведен снимок звуковой волны, вызванной искрой, проскакивающей между двумя металлическими шариками. На снимке виден один из этих шариков, другой же шарик заслонен первым. Кольца вокруг шарика — гребни звуковой волны (сгущения воздуха), доносящей до нашего уха треск искры. Такие снимки не оставляют сомнения в волновой природе звука и дают возможность изучать форму звуковых волн.

Сила звука зависит от размаха колеблющихся частиц воздуха. Чем больше этот размах, т.-е. чем дальше удаляются частицы от своего нормального положения покоя, тем громче, сильнее будет слышимый звук.

Волны на воде тоже называются сильными, если они высоко поднимаются и низко опускаются, т.-е. если частицы воды совершают колебания с большим размахом.

Но звуки могут отличаться друг от друга не только своей силой, но и своим тоном, или, как говорят, своей высотой. Ребенок и взрослый человек могут говорить одинаково громко, но голоса их все же отличаются: голос ребенка имеет более высокий тон. Оказывается, что высота звука зависит от быстроты, или частоты,



Рис. 16. Фотография звуковой волны.

звуковых колебаний⁴⁾. Я могу делать одинаковые размахи рукою, но делать их с разной частотой; я могу делать пять размахов в минуту, могу их делать и пятьдесят. Чем больше частота колебания частиц воздуха, т. е. чем большее число колебаний совершают они в каждую секунду, тем выше кажется нам звук. В этом легко убедиться на опыте. Приводимые заднее колесо велосипеда и приведете его в быстрое вращение. Возьмите затем кусок картона и держите его так, чтобы его задевали спицы колеса. Вы услышите звук, тон которого будет тем выше, чем быстрее вертится колесо. Чем чаще будут ударять спицы о картон, тем быстрее будет он колебаться, стало быть тем быстрее будут колебания частиц воздуха, вызванные колебанием картона, и тон звука будет казаться выше.

Как удивительно просто объясняется различие звуков! По мере того как изменяется частота колебания воздуха, в человеческом ощущении проходит великое разнообразие различных звуков, тонов, нот. При 20—30 колебаниях частиц воздуха в секунду человек слышит самый низкий басовый тон, при 15—20 тысячах колебаний ему уже слышится самый высокий свист или писк. Если еще дальше повышать число колебаний, то звук будет становиться все выше и слабее и в конце концов совсем перестает быть слышимым. Колебания воздуха могут продолжаться с прежнею силой, но увеличившаяся частота этих колебаний делает их неслышимыми для человека; для его уха они перестают существовать.

В дальнейшем нам еще не раз придется встретиться с разительными примерами того, как изменение числа (частоты) колебаний совершенно меняет качество

⁴⁾ Быстроту или частоту колебаний не нужно связывать со скоростью распространения колебаний. Медленным колебанием может с большою скоростью передаваться идея, и наоборот.

и характер явлений. Теперь же нам нужно познакомиться со смыслом еще одного часто встречающегося выражения. Что такое длина волны? В просторечии длиной волны на воде называется длина гребня или вала волны; на научном же языке это выражение имеет совершенно другое значение и обозначает поперечное расстояние между двумя соседними гребнями или впадинами волны. Так, например, длина волны, поперечный разрез которой изображен на рис. 14, равна расстоянию между частицами a и b или между b и c (расстояния эти одинаковы). Другими словами, длиной волны называются расстояния между такими двумя частицами, из которых одна в своем движении отстает от другой как раз на одно полное колебание. Так, например, частицы a и b на рис. 14 колеблются в такт, одновременно поднимаются и одновременно опускаются; но начинать колебаться они одновременно. Если волна пришла слева, то частица b начала колебаться раньше, чем частица a , и если, например, частица b сделала уже два полных колебания, то a успела сделать только одно: пока колебания передавались от b к a , частица b успела уже закончить одно полное колебание. Можно, стало быть, сказать, что длина волны равна тому расстоянию, на которое успевает передаться волновое движение за время одного полного колебания. Зная по скорости распространения волны и по частоте колебаний можно рассчитать длину волны. Если, например, известно, что за одну секунду волна распространяется на 1 метр и что за одну секунду каждая частица воды совершает 2 колебания, то, следовательно, за время одного колебания волновое движение передается на расстояние $\frac{1}{2}$ метра. Стало быть и длина волны (расстояние между двумя ее гребнями) тоже равна $\frac{1}{2}$ метра. Легко понять, что таким же способом можно рассчитать длину волны во всех подобных случаях: длина волны равна частному

от деления скорости волны на частоту колебаний:

$$\text{длина волны} = \frac{\text{скорость распространения волны}}{\text{частота колебаний}}.$$

Все эти рассуждения применимы, конечно, не только к волнам на воде, но и ко всем видам волнового движения. Например в учении о звуке длиной волны называется расстояние между двумя соседними сгущениями или разрежениями воздуха, чему на рис. 16 соответствует расстояние между темными кольцами. Указанная зависимость длины волны от частоты справедлива и для звуковых волн. Понятно, кроме того, что по длине волны и по скорости ее распространения можно обратно вычислить частоту колебаний.

3. Что такое электрическая волна. Теперь, познакомившись с основными свойствами волнового движения на двух простых примерах (волны на воде и волны в воздухе), мы можем перейти к непосредственно интересующим нас электрическим колебаниям. Прежде всего нужно сразу же отметить очень существенное отличие электрических колебаний от тех, с которыми мы имели дело в предыдущем параграфе. До сих пор, говоря о волнах и колебаниях, мы всегда разумели колебания каких-либо тел: частиц воды, воздуха и т. д. Но электрическими колебаниями называются не колебания частиц электричества, например электронов, а колебание величины электрической силы. Надо признать, что довольно трудно представить себе такое колебание, которое состоит в изменении величины силы и не связано непосредственно с движением материальных частиц.

Постараемся же помочь читателю примером.

Предположим, что на нитке подвешен заряженный электричеством шарик III (рис. 17). Что случится, если к этому шарiku приблизить другой заряженный шарик,

например если поместить второй шарик в место, обозначенное на рисунке крестиком и буквою *A*? На этот шарик действует, конечно, электрическая сила, вызванная присутствием первого шарика *Ш*. Ну, а если вновь удалить второй шарик, будет ли в точке *A* продолжать действовать электрическая сила сила *Ш*? Да, будет, но только за отсутствием в этом месте заряженного тела, которое эта сила могла бы притянуть или оттолкнуть, она ничем проявиться не будет и останется скрытой от нашего взора. Это рассуждение применимо не к одному только месту *A*, но ко всему пространству около заряженного шарика *Ш*: во всех местах около него скрыто существует электрическая сила, исходящая от этого шарика, но проявиться эта сила может только при наличии заряженных тел.

Представим себе теперь, что наш шарик качается на своем подвесе. Понятно, что во время качания величина электрической силы в точке *A* будет непрерывно изменяться. Когда шарик приближается к точке *A*, сила в этой точке увеличивается; когда же шарик обратным размахом удаляется от точки *A*, электрическая сила уменьшается. Вот эти-то изменения величины электрической силы и называются электрическими колебаниями: качание заряженного шарика вызывает вокруг него электрические колебания.

Эти электрические колебания обладают замечательным свойством распространиться вдалеке от места своего возникновения ¹⁾. Если в каком-нибудь месте возникают колебания электрической силы, то они передаются



Рис. 17. Заряженный шарик на подвесе.

¹⁾ Распространение электрических колебаний тесно связано с магнитной стороной этих явлений, о которой упомянем на стр. 49.

и в соседние места, т. е. вызывают в них последовательное появление и исчезновение электрической силы, оттуда еще дальше и т. д. Это распространение электрических колебаний напоминает распространение волн на воде и в воздухе и называется электрической волной.

Но электрические волны сходны с другими видами волн не одной только своей способностью распространяться вдаль. Чтобы найти еще и другие черты сходства, вернемся к рассмотрению нашего колеблющегося шарика *III* (рис. 17). Предположим, что шарик делает два размаха в секунду. Значит два раза за каждую секунду он будет подходить к точке *A* на самое малое возможное для него расстояние, и в это время электрическая сила в этой точке будет иметь наибольшую величину. Дважды в секунду шарик будет удаляться от точки *A*, и сила в этой точке будет уменьшаться. Таким образом число колебаний электрической силы в пространстве около шарика будет равно числу колебаний самого шарика. Передаваясь все дальше и дальше, в удаленные от шарика места, эти колебания электрической силы будут ослабевать, как ослабевает, например, звук на больших расстояниях. Но куда бы ни пошли электрические волны, везде будут они вызывать электрические колебания одинаковой частоты: везде электрическая сила будет в течение секунды дважды возрастать до наибольшей своей величины и дважды спадать; другими словами, частота этих колебаний не меняется при их распространении, как не меняется, например, частота звуковых волн (высота, тон звука) при распространении звука.

Как и в других видах волнового движения, электрические колебания не во всех точках волны происходят в такт: в более удаленных точках они запаздывают по сравнению с более близкими. Чтобы лучше в этом

разобраться, рассмотрим рис. 18. На этом чертеже величина и направление электрической силы в каждой точке вдоль волны условно изображена стрелкой. Длина стрелок соответствует величине электрической силы. Рисунок изображает электрическую волну, идущую слева и только что дошедшую до точки *A*. Это значит, что в *A* впервые начинает нарастать электрическая сила. В точке *Г* большая стрелка обозначает, что электрическая сила успела уже вырасти до наибольшей своей величины и начнет сейчас уменьшаться; в точке же *B* она уже успела спадать до нуля. В точке *Б* стрелка обращена вниз; это значит, что электрическая сила здесь однажды уже достигла наибольшей своей вели-

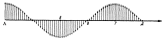


Рис. 18. Условный чертёж электрической волны.

чины, спала до нуля и успела уже вырасти в противоположном направлении; она направлена теперь не вверх, а вниз и начнет сейчас опять уменьшаться. На первый взгляд должно казаться, что электрическая сила, уменьшившись до нуля, должна потом нарастать в прежнем направлении, т. е. что вновь должна появляться сила, действующая вверх, а не вниз. Однако это не так: при электрических колебаниях сила поочередно нарастает в двух противоположных направлениях (например вверх и вниз). Объяснять причины этого явления мы здесь не можем, это завело бы нас слишком далеко.

Вы видите, что концы стрелок на рис. 18 расположены по волновой линии, которая напоминает своим видом волну на воде (рис. 14). Но между этими двумя рисун-

каким существует глубокое различие. Рис. 14 изображает действительное расположение колеблющихся частиц воды, тогда как на рис. 18 стрелки только условно изображают величину электрической силы; эти силы действуют не в местах окончания стрелок, а в точках А, Б, В, Г и т. д., расположенных по прямой линии у начала стрелок. При электрических колебаниях никакого колебания или движения каких-либо материальных частиц нет. Именно поэтому электрические колебания (в отличие от всех других) и могут передаваться через пустое безвоздушное пространство (например пространство между звездами).

Но если электрические колебания не связаны с движением материальных тел, то каким же образом можно узнать, происходит ли в каком-нибудь определенном месте электрические колебания или же нет? Проще всего, конечно, было бы повесить в это место какой-нибудь маленький заряженный шарик. Если в исследуемом месте существует электрическая сила, то она будет оттягивать этот шарик в сторону; если величина этой силы меняется, то шарик будет оттягиваться в сторону то сильнее, то слабее и, следовательно, сам начнет колебаться. Но такой простой способ оказывается практически пригодным только в самых редких случаях; в действительности же для обнаружения электрических колебаний приходится пользоваться другими, иной раз очень сложными, способами. Поразительное разнообразие этих способов зависит от того, что характер и свойства электрических колебаний чрезвычайно сильно зависят от их частоты, т. е. от числа колебаний электрической силы в секунду.

В предыдущем параграфе мы уже говорили о том, как сильно влияет на характер звука частота звуковых колебаний. В еще большей степени зависят от частоты свойства электрических колебаний. Достаточно сказать,

что такие разнообразные, совсем, казалось бы, непохожие друг на друга явления, как электрические волны, применяемые при беспроволочном телеграфировании, тепловые лучи, приводящие нам солнечное тепло, свет солнца или лампы, наконец невидимые рентгеновские лучи, — все они представляют собой электрические колебания и волны и отличаются друг от друга только своей частотой. Нельзя не преклониться перед силой человеческой мысли, сумевшей найти единство в этом многообразии, охватить в одно целое все эти, казалось бы, разнородные явления и разыскать единый управляющий ими закон. В результате этой грандиозной работы мы можем гордиться целым рядом подтвердившихся на опыте предсказаний о свойствах еще неизученных видов электрических волн. Предсказания эти основаны на внимательном изучении давно уже известных явлений. Так, например, изучение света дало возможность предсказать целый ряд свойств рентгеновских и тепловых лучей.

9. Различные виды электрических волн. Электрические волны, вообще говоря, имеют гораздо большую частоту, чем волны на воде или в воздухе. Из всех видов электрических волн, имеющих практическое значение, самые медленные, это — волны, применяющиеся при беспроволочном телеграфировании, и все же частота их заключается между 10 000 и 1 000 000 колебаний в секунду. Понятно, что для возбуждения таких быстрых колебаний нужны особые приборы; конечно заряженный шарик, о котором говорилось в предыдущем параграфе, здесь уже не поможет, ибо его нельзя заставить качаться с такой быстротой. На передающей радиостанции специальные машины и приборы возбуждают электрические волны; волны эти распространяются во все стороны, подобно тому как звук распространяется от звучащего тела. Приемные радиостанции снабжены особыми

приспособлениями (антеннами или рамками и приемниками), в которых приходящая издалека электрическая волна может вызывать переменный электрический ток (если только волна эта обладает достаточной силой и нужной частотой). Ток этот действует на телефон и заставляет его звучать. Так происходит передача радиотелеграфных сигналов¹⁾.

Передающие радиостанции отличаются друг от друга своим „тоном“, т. е. частотой посылаемых ими волн.

Надо сказать, что вместо „частоты колебаний“ чаще говорят о „длине волны“. Как уже говорилось, длиной волны называется расстояние между двумя соседними точками, колебания в которых происходят в такт. Например длина волны колебаний, изображенных на черт. 18, соответствует расстоянию между точками *A* и *Г*: в обеих этих точках электрическая сила имеет одинаковую величину и одинаковое направление. Очевидно, что изменения электрической силы в точке *Г* отстают как раз на одно полное колебание от изменений электрической силы в точке *A*. Иными словами за то время, пока электрическая волна проходила расстояние между *A* и *Г*, величина электрической силы в точке *A* успела совершить одно полное колебание.

Если читатель сравнит это со сказанным в конце 7-го параграфа, то он убедится, что приведенный там способ расчета длины волны годится и для случая электрических волн:

$$\text{Длина волны} = \frac{\text{скорость распространения волны}}{\text{частота колебаний}}.$$

Все электрические волны (в том числе, конечно, волны световые и рентгеновские) распростра-

¹⁾ Передача звуковых речи и музыки по радиотелефону во многом от передачи радиотелеграфных сигналов не отличается.

няются с одинаковой скоростью, а именно со скоростью 300 000 км в сек. Скорость эта чудовищно, неообразимо велика; достаточно сказать, что при такой скорости свету (а стало быть и всем другим видам электрических волн) нужно только $8\frac{1}{3}$ минут, чтобы пройти весь путь от солнца до земли.

Чтобы высчитать длину электрической волны в километрах, нужно стало быть 300 000 разделить на частоту колебаний. Частота электрических колебаний, посылаемых Московской радиостанцией имени Коминтерна, равна 200 000 колебаний в секунду. Стало быть на одно колебание приходится $\frac{1}{200\,000}$ часть секунды, а длина волны равна $300\,000 / 200\,000 = 1\frac{1}{2}$ км, т.е. 1500 м⁴⁾; таково расстояние между двумя ближайшими точками вдоль волны, в которых колебания электрической силы происходят в такт.

Вообще говоря, в радиотелеграфе применяются для передачи сигналов волны длиной от 300 м до 25 км. В последнее время начинают входить в употребление и более короткие волны.

Следующая важная разновидность электрических волн, это — так называемые „тепловые лучи“⁵⁾, в которых происходит еще более быстрые колебания. Эти невидимые лучи испускаются всеми нагретыми телами.

Каждый, вероятно, испытывал на себе в недавние годы согревающее действие тепловых лучей, испускаемых накалиной железной печурой, которая, как говорят, „пышет жаром“ и сильно греет обращенные к ней части тела, в то время как в комнате продолжает быть до-

⁴⁾ Для простоты здесь несомненно округлен член: на самом деле длина волны радиостанции Коминтерна равна 1450 м.

⁵⁾ В науке эти лучи называются не тепловыми, а инфракрасными, потому что в ряде электрических волн уменьшающейся длины они представляют красный лучи видимого света.

лодки, ноги и спина забнут. Происходит это потому, что тепловые лучи или волны подобно свету распространяются от нагретого тела по прямым линиям и согревают только те предметы, на которые они непосредственно попадают; предметы же, находящиеся в „тепловой тени“, остаются холодными. Такие же невидимые тепловые лучи приходят к нам вместе со светом от солнца и теплом своим поддерживают жизнь на земле. Обыкновенно говорят, что солнечный свет греет; это не совсем правильно. Сам по себе солнечный свет греет слабо, и солнечное тепло привносится главным образом невидимыми тепловыми лучами, которые приходят к нам вместе со светом.

Частота колебаний в этих „тепловых“ электрических волнах колоссальна — десятки и сотни триллионов колебаний в секунду. Пользуясь способом, указанным выше, можно рассчитать, что такой частоте соответствует длина волны примерно от одной десятой до одной тысячной доли миллиметра. Каким же образом возникают в нагретом теле столь быстрые электрические колебания?

Вспомним, что не только газы, но и все жидкие и твердые тела состоят из мельчайших частиц — молекул и что молекулы эти всегда находятся внутри тела в быстром, хотя и беспорядочном движении. Это движение молекул тем оживленнее, чем сильнее нагрето тело, и его поэтому называют тепловым движением. В своем беспорядочном тепловом движении молекулы беспрестанно сталкиваются друг с другом, и удары эти сотрясают все „тело“ молекулы. Ведь каждая молекула, как уже говорилось в главе I, представляет собою сложную постройку из частиц положительного и отрицательного электричества. Столкновения и сотрясения молекулы вызывают, конечно, колебания

электрических частиц внутри молекулы, а всякое колебание электрически заряженного тела, как было выяснено на примере с качающимся шариком, вызывает распространение электрических колебаний, или электрических волн. Таким образом тепловое движение молекул всегда порождает электрические волны¹⁾. Правда, при обычной температуре волны эти слабы и ими обычно не замечаются. Однако по мере нагревания тела тепловое движение его молекул усиливается, удары и столкновения их происходят с большей силой и следуют чаще одно за другим. Стало быть колебания электрических составных частей молекулы становятся более значительными и испускаемые ими волны более сильными. Волны эти начинают нагревать встречающиеся им на пути предметы, и мы говорим, что тело излучает тепло.

По мере нагревания тела возрастает не только сила испускаемых им электрических колебаний, но меняется также их частота. Вообще говоря, справедливо следующее общее правило: чем сильнее удар о молекулу, тем больше частота испускаемых ею колебаний²⁾, другими словами, тем меньше длина испускаемой волны. При нагревании увеличивается сила ударов молекул, а вместе с тем и частота испускаемых ими тепловых электрических волн. Наконец при очень сильном нагревании все тела накаляются, т. е. начинают испускать свет. Почему?

Дело в том, что свет, как уже упоминалось, тоже представляет собою электрические волны, но только ча-

1) Движение всей молекулы в целом не вызывает электрических волн, так как молекула состоит из равного числа частиц положительного и отрицательного электричества. Если все эти частицы движутся одинаково, то их электрическое действие будет взаимно уравновешиваться.

2) Это правило применимо только к атомам и молекулам, частота же колебаний более сложных тел (планет, комет) не зависит как от силы удара.

стоты еще большей, чем частота тепловых лучей¹⁾. Частота колебаний электрической силы в световых лучах достигает от 400 до 750 триллионов колебаний в секунду; иначе говоря, длина световой электрической волны достигает примерно от четырех до семи с половиной десятитысячных долей миллиметра. Электрические волны этой и только этой длины обладают замечательным свойством: попадая в человеческий глаз, они вызывают в нем ощущение света. Только эти волны и дают нам возможность видеть. И солнце, и лампа, и свеча кажутся нам светящимися потому, что они испускают электрические волны указанной длины. Если волна имеет большую или меньшую длину, то она не оказывает никакого действия на человеческий глаз.

Вы видите, какое большое значение имеют для человека различные волны и колебания. Колебания частиц воздуха около уха вызывают ощущение звука, колебания величины электрической силы в глазу — ощущение света. Подобно тому как тон, или высота звука, зависит от частоты звуковых колебаний, так и цвет света зависит от частоты электрических колебаний.

Волны длиной в $7\frac{1}{2}$ десятитысячных мм (450 триллионов колебаний в секунду) вызывают ощущение красного света, в $6\frac{1}{10000}$ мм — желтого света, в $5\frac{1}{10000}$ мм — зеленого, в $4\frac{1}{10000}$ мм — фиолетового. Волны большей или меньшей длины остаются невидимыми для человека, как не слышны ему звуковые волны с частотой больше 15000—20000 колебаний в секунду.

Итак, ощущение света вызывается быстрыми электрическими волнами, которые подобно другим видам элект-

¹⁾ Световые лучи, как и все вообще электрические лучи, видимые и невидимые, способны нагревать тела, на которые они падают и в которых они поглощаются. В этом отношении они не отличаются от тепловых лучей не отличаются.

треческих волн возникают при быстром колебании электрических частей. Теперь становится понятным, почему светятся только сильно нагретые тела. Чтобы вызвать быстрые колебания, необходимы очень сильные столкновения молекул, а сила удара молекул возрастает при нагревании. Понятно также, почему они начинают светиться сначала красным светом, потом желтым и так далее. Ведь из всех световых волн наименьшей частотой обладают те, которые вызывают ощущение красного света. При температуре красного каления столкновения молекул достаточно сильны, чтобы возбудить эти „красные колебания“, но еще не в состоянии возбудить более быстрые „желтые или зеленые и т. д. колебания“. При очень высокой температуре раскаленные тела испускают световые лучи всех цветов. Смешение всех цветов — красного, желтого, зеленого и т. д. — вызывает в нас ощущение белого цвета ¹⁾, и мы говорим, что тело достигло температуры белого каления.

Свечение тел может вызываться не только высокой температурой. Так, например, в первой главе мы уже познакомились со свечением газа при электрическом разряде. Если сила электрического тока не очень велика, то при малой плотности газа в разрядной трубке температура его почти не повышается (в этом можно убедиться, поместив в разрядную трубку чувствительный термометр). Как в раскаленном теле, так и в холодном газе разрядной трубки свечение вызывается быстрыми колебаниями электрических частей молекул, но только в последнем случае колебания эти возбуждаются не

¹⁾ Красному, желтому, зеленому и т. д. цвету соответствует своя определенная частота электрических колебаний, т. е. определенная длина электрической волны. Напротив, ощущение белого света всегда вызывается одновременным действием различны электрических волн, смешанных между собою в определенном соотношении.

тепловым движением молекул, а ударами о молекулы быстро летящих заряженных осколков других молекул. Эти заряженные частицы притягиваются к электродам разрядной трубки и могут поэтому приобретать очень большие скорости.

Итак, свет представляет собою электрические волны с частотой от 400 до 750 триллионов колебаний в секунду—только эти волны и действуют на человеческий глаз. Можно ли мы получить и обнаружить еще более быстрые колебания? Да, и притом довольно просто. Из предыдущего ясно, что для получения таких быстрых колебаний необходимо увеличить силу молекулярных столкновений. Этого можно достигнуть сильным нагреванием (до или выше температуры белого каления). Так, например, электрический дуговой фокарь испускает сравнительно много таких невидимых уже глазу волн, потому что уголь в таком фокаре накален до очень высокой температуры. Можно также действовать же нагреванием, а увеличением силы ударов электрических частиц в разрядной трубке—помимо видимого света разрядная трубка излучает также и эти более быстрые колебания. Обнаружить эти колебания тоже легко с помощью фотоаппарата.

Известно, что световые лучи разных цветов действуют на фотографическую пластинку не с одинаковой силой. Например на обыкновенные пластинки красный свет действует очень слабо—недаром же их можно проявлять при таком свете, не опасаясь порчи. Красный свет представляет собою наиболее медленные из всех видимых колебаний. Чем больше частота света, тем сильнее действует он на пластинку; самое сильное действие оказывает фиолетовый свет. Нет потому ничего удивительного, что еще более быстрые колебания, о которых мы говорили (их называют „ультрафиолетовыми“, что

значит „находящиеся за фиолетовыми“), действуют на фотографическую пластинку еще сильнее, чем видимый свет. Таким образом фотографический аппарат с успехом заменяет нам глаза при изучении этого невидимого ультрафиолетового „света“. С помощью фотографии сравнительно легко удалось исследовать электрические волны до таких частот, которые раза в два-три превышают частоту колебаний фиолетового света.

Исследование еще более быстрых колебаний оказалось делом чрезвычайной трудности, и не потому, что их трудно получить или трудно обнаружить (они продолжают действовать на фотографическую пластинку), а потому, что для них решительно все тела оказываются непрозрачными; даже тонкий слой воздуха их поглощает (задерживает).

Вообще говоря, тело, прозрачное для одних электрических волн, может быть непрозрачным для других. Например красное стекло или красное вино потому темное и кажутся нам красными, что из всех видимых лучей они пропускают только красные, а все остальные поглощают.

Но короткие ультрафиолетовые волны обладают той отличительной особенностью, что они поглощаются почти всеми телами. Это обстоятельство до такой степени затрудняет их изучение, что только в последние годы, после многих десятилетий упорной работы целого ряда физиков, удалось, наконец, положить начало подробному исследованию этих лучей.

Однако, если перелодить ко все более и более быстрым колебаниям, т. е. к более коротким волнам, то после очень долгого пути мы мируем области сильно поглощаемых волн. При дальнейшем увеличении числа колебаний поглощаемость волн станет уменьшаться, и в конце концов мы дойдем до таких колебаний, для которых, ка-

оборот, почти все тела более или менее прозрачны. Эти проникающие волны являются не чем иным как теми таинственными лучами, которые 30 лет тому назад были открыты Рентгеном. Правда, окончательно доказать волновую природу этих лучей удалось лишь 13 лет тому назад. Об этом доказательстве мы поговорим в следующей главе; там же будет рассказано и о том способе, которым удалось определить частоту колебаний электрической силы в рентгеновских лучах. Эта частота так громадна, что мы не в состоянии ее себе наглядно представить. Как ни велика быстрота электрических колебаний видимого света, все же быстрота электрических колебаний в рентгеновских лучах превышает ее в несколько тысяч раз. Другими словами, в рентгеновском луче величина электрической силы совершает за каждую секунду миллионы триллионов, или миллиарды миллиардов, колебаний! Чтобы написать это число цифрами, нужно поставить единицу с восемнадцатью нулями: 1000 000 000 000 000 000 колебаний в секунду.

Соответственно этому длина волны рентгеновских лучей всеобразно мала — в тысячи раз меньше длины световой волны — и измеряется десятичными и стомиллионными частями миллиметра.

10. Рентгеновский свет. Гамма-лучи. Итак, рентгеновские лучи, или рентгеновский свет, представляют собою электрические колебания большой частоты, или, иначе, электрические волны малой длины. Хотя лучи эти и невидимы, все же мы со спокойной совестью называем их рентгеновским „светом“. Ведь мы знаем теперь, что между рентгеновским и видимым светом существует только количественное различие в частоте колебаний, или, другими словами, в длине волн. Количественное различие ведет, конечно, и к качественной разнице. Свойства рентгеновского света отличаются многими особенностями

(например своей проникающей способностью), однако у него есть и много общего с видимым светом (например действии на фотографическую пластинку). Конечно рентгеновскому свету не хватает, казалось бы, самого важного свойства света — быть видимым; но ведь в нечувствительности человеческого глаза к рентгеновским лучам повинен скорее глаз, чем эти лучи; как уже говорилось, наш глаз воспринимает электрические волны только в очень узкой области (от $7\frac{1}{2}/10000$ мм до $4/10000$ мм).

Но в конце концов суть дела вовсе не в этом. Почему рентгеновские лучи могут быть названы электрическими волнами? Какие характерные свойства дают право на это название? Иными словами, что общего между всеми видами электрических волн? Мы же напрасно отклонялись в сторону в трех предыдущих параграфах; после проделанной подготовки нам нетрудно ответить на эти вопросы. Общее между всеми видами электрических волн лежит, во-первых, в способах их возникновения, во-вторых, в характере их распространения ¹⁾. Рассмотрим эти свойства по порядку.

Подобно другим видам электрических волн рентгеновские лучи возникают при быстрых колебаниях электрических составных частей молекулы. Мы уже знаем, что частота этих колебаний зависит от силы удара о молекулу. Частота рентгеновских колебаний в тысячу раз больше световых; соответственно этому для получения рентгеновских лучей нужен удар о молекулу в тысячу раз более сильный, чем для обыкновенного свечения. Каким же способом можно добиться таких сильных ударов? Нагревание тела здесь не поможет — ведь уже для белого каления (излучение белого света)

¹⁾ Сказавало бы прибавить еще, в-третьих, поглощение электрических волн и связанные с этим различные действия их; мы опускаем этот вопрос только по недостатку места.

нужна температура примерно в 1000° ; для рентгеновского же „свечения“ нужна будет температура в тысячу раз большая. Другими словами, чтобы накалившее тело испускало рентгеновские лучи, нужно нагреть его примерно до миллиона градусов, а этого мы пока не умеем.

Если не пригоден тепловой способ, то поможет электрический. С помощью заряженных электродов мы можем отсасывать из газа заряженные осколки его молекул, в том числе и частицы отрицательного электричества — электроны. Если электрическое напряжение между электродами велико, то велика будет и сила, действующая на электроны; если к тому же молекулы газа расположены не слишком густо, то на свободных участках своего пути электроны будут успевать разогнаться, и удары их о молекулы будут достаточно сильны, чтобы вызвать рентгеновское свечение (неизбежное, конечно). В этом отношении существует полное сходство рентгеновского свечения с обыкновенным видимым свечением в разрядной трубке. Есть, однако, и отличие. Видимый свет всегда порождается колебанием тех электронов, которые входят в состав молекулы (или ее осколков, т.-е. ионов). Часть же рентгеновских лучей вероятно возникает другим путем — при внезапной остановке быстро летящего свободного электрона. При этом совершенно безразлично, на какого рода препятствие налетел этот электрон, важно только, чтобы он быстро затормозился. Возникающие таким образом электрические волны называются излучением торможения. Длина тормозных электрических волн зависит от силы и резкости удара в той же степени, как и длина волн, испускаемых сотрясенными молекулами.

В конце прошлой главы мы ознакомились с устройством рентгеновской трубки; мы убедились, что единственная задача и назначение этого прибора сводится к тому, чтобы получать сильные удары электронов об антикатод.

Откуда берутся эти электроны — из расщепленных молекул газа или из накаливаемого металла, как в трубке Кулиджа — совершенно безразлично; важна сила их удара о металл антиматериала. Может, однако, возникнуть вопрос — если важна только сила удара, то почему же антиматериал делается всегда из металла? Нельзя ли бомбардировать электронами не металл, а какое-нибудь другое вещество: уголь, стекло? Можно, но только это очень невыгодно. Не каждый быстро несущийся электрон вызывает своим ударом рентгеновское свечение. Наоборот, большая часть электронов понапрасну растрачивает свою силу при столкновениях, теряет свою скорость и успокаивается, не успев родить своим ударом рентгеновского луча. Даже в лучших рентгеновских трубках только тысячная доля из общего числа сильных ударов падает на полезные удары, т.е. на такие удары, которые вызывают рентгеновское „свечение“. Как велика будет доля этих полезных ударов, зависит от природы вещества, подвергающегося бомбардировке электронами, т.е. от вещества антиматериала.

Оказывается, что чем тяжелее, плотнее материал антиматериала, тем большая доля ударов затрачивается полезно. Другими словами, при той же силе электрического тока и при той же скорости электронов, яркость, или сила, рентгеновского света будет больше при тяжелом антиматериале. Поэтому их делают из таких тяжелых металлов, как платина, вольфрам, молибден. Конечно при этом важен не общий вес антиматериала, а только материал его, — для хорошей работы трубки достаточно покрыть медный антиматериал очень тонким слоем платины. При выборе материала для антиматериала нужно еще принять во внимание, что сильные удары электронов нагревают антиматериал иной раз до белого каления; поэтому его можно изготовлять только из очень тугоплавких металлов.

В параграфе 6 уже говорилось о мягких и жестких рентгеновских лучах. Первые получаются при более

слабых, вторые при более сильных ударах электронов. Как легко догадаться, жесткость лучей зависит от их частоты, или длины волны. Рентгеновским лучам соответствует не одна определенная длина волны, а целая область электрических волн. Как при накаливании тела по мере усиления теплового движения молекул постепенно меняется длина излучаемых световых волн (красное, желтое, белое каление), так при увеличении напряжения в рентгеновской трубке с возрастанием скорости электронов постепенно меняется длина излучаемых рентгеновских волн. Чем больше частота колебаний (чем короче длина волны), тем жестче рентгеновские лучи, т. е. тем меньше они поглощаются, тем лучше проникают сквозь препятствия. Для рентгеновского луча с длиной волны в $1/1\,000\,000$ мм даже неболь-

Число колеб. в сек.	Длина волны	Название
10^3	300 км	Медл. электромагнит. волны
10^4	30 км	
10^5	3 км	
10^6	300 м	Волны безразличного эфира
10^7	30 м	
10^8	3 м	
10^9	30 см	Короткие электромагнит. волны
10^{10}	3 см	
10^{11}	3 мм	
10^{12}	$\frac{1}{10}$ мм	Тепловые (инфракрасные) лучи
10^{13}	$\frac{1}{10^2}$ мм	
10^{14}	$\frac{1}{10^3}$ мм	
10^{15}	$\frac{1}{10^4}$ мм	Видимый свет
10^{16}	$\frac{1}{10^5}$ мм	
10^{17}	$\frac{1}{10^6}$ мм	
10^{18}	$\frac{1}{10^7}$ мм	Ультрафиолетовые лучи
10^{19}	$\frac{1}{10^8}$ мм	
10^{20}	$\frac{1}{10^9}$ мм	
10^{21}	$\frac{1}{10^{10}}$ мм	Рентгеновские лучи
10^{22}	$\frac{1}{10^{11}}$ мм	
10^{23}	$\frac{1}{10^{12}}$ мм	
10^{24}	$\frac{1}{10^{13}}$ мм	Гамма лучи
10^{25}	$\frac{1}{10^{14}}$ мм	

Рис. 13. Таблица электромагнитных волн.

шой слой воздуха почти непрозрачен; лучами с длиной волны в $1/100000000$ — $5/1000000000$ мм обыкновенно пользуются в медицине при фотографировании внутренних органов человеческого тела; наконец, для исследования металлических изделий в последнее время применяются еще более короткие лучи, которые могут проникать даже через слой стали сантиметров в семь толщины.

Есть ли границы этому росту проникающей способности лучей вместе с уменьшением длины волны? Мы не знаем этого. Самые короткие из лучей, полученных в рентгеновской трубке, оказались вместе с тем и самыми жесткими, самыми проникающими. Чтобы еще дальше уменьшить длину волны, надо усилить удар электронов, т.-е. увеличить электрическое напряжение между электродами трубки. Наибольшее из применяющихся напряжений равно примерно 250000 вольт — рентгеновская трубка не выдерживает больших напряжений. Самые короткие из полученных при этом напряжениях рентгеновских волн имеют длину примерно в $1/200000000$ мм. Таков достигнутый пока предел.

Но если искусственным путем мы пока не можем получить еще более коротких волн, то нельзя ли разыскать таких волн в природе? Задача эта оказалась легко выполнимой. На земле нет длинных рентгеновских волн естественного происхождения, зато короткие рентгеновские волны непрерывно излучаются радиоактивными веществами.

Известно, что радиоактивные вещества отличаются свойством самопроизвольно, т.-е. без всякого внешнего воздействия, излучать из себя особого рода „лучи“. Объясняется это тем, что атомы радиоактивных веществ являются наиболее сложными из всех существующих атомов. Как и все атомы, они построены из частиц

положительного и отрицательного электричества, но постройка эта так сложна и неустойчива, что время от времени с тем или иным из радиоактивных атомов происходит катастрофа — он распадается на части. При таком „взрыве“ из атома может вылететь или положительно заряженная частица или отрицательный электрон. Эти-то заряженные частицы, с большой скоростью вылетающие из атома, и образуют собою радиоактивные лучи (так называемые альфа- и бета-лучи). Лучи эти таким образом представляют собой поток материальных частиц и ничего общего не имеют с электрическими волнами. Но, умирая, они порождают короткие электрические волны — рентгеновские лучи. Это и понятно. Ведь бета-лучи, это — поток быстрых электронов, ничем существенным не отличающийся от потока электронов в рентгеновской трубке, от так называемых катодных лучей (см. параграф 5). Очевидно, что удар электрона — бета-луча — о молекулу заставит ее испустить рентгеновский свет. Эти рентгеновские лучи радиоактивного происхождения принято называть гамма-лучами. Единственное их отличие от обыкновенных рентгеновских лучей состоит в меньшей длине волны.

Дело в том, что при распаде радиоактивных атомов электроны вылетают из них с громадной скоростью — гораздо большей, чем скорость электронов в рентгеновских трубках. Этим объясняется и большая сила удара электрона и меньшая длина волны гамма-луча. По мере уменьшения длины волны продолжает возрастать и жесткость, или проникающая способность, гамма-лучей. Самые короткие из известных нам пока гамма-лучей раз в 20 короче самых коротких из искусственно полученных рентгеновских лучей; эти гамма-лучи являются самыми короткими из всех известных электрических волн, и вместе с тем самыми проникающими. Существуют,

быть может, и еще более короткие волны, которые остаются незамеченными, потому что их поглощаемость еще меньше и что поэтому они свободно проходят через наши приборы, не оставляя за собою почти никакого следа, никаких изменений.

Мы закончили обзор различных видов электрических волн. Мы убедились, как много общего в целом ряде, казалось бы, совершенно разнородных явлений (рис. 19). Во всем этом многообразии царит единая сущность, единые законы. Все электрические волны распространяются (в пустоте) с одинаковой скоростью — 300 000 км в секунду. Все короткие электрические волны возникают при колебании заряженных тел и частиц. От силы удара о молекулу зависит длина выпускаемой волны; эта зависимость одинакова и для длинных тепловых и для коротких рентгеновских волн. И много еще других общих свойств и законов относятся ко всем видам электрических волн.

И вместе с тем как сильно меняется целый ряд других свойств этих волн по мере изменения частоты колебаний или длины волны!

Однако за мной есть еще один долг, который пора наконец погасить. Я приводил числа колебаний, указывал длину волны, но ни слова еще не сказал о том, как эту длину волны можно измерить. Больше того, я еще не рассказывал о том, каким именно путем можно удостовериться в волновой природе рассмотренных нами явлений. Этот пробел я постараюсь восполнить в следующей главе, пока же отмечу следующее обстоятельство.

Волновая природа рентгеновских лучей сближает их не только с другими видами электрических волн, но и вообще со всеми видами волнового движения, например с волнами звуковыми. Все виды волн образуют как бы одно семейство; несмотря на все отличие их

друг от друга между ними все же всегда есть черты семейного сходства.

Чтобы удостовериться в этом, припомним основные свойства электрических волн и колебаний.

1) Электрические колебания состоят в повторном (периодическом) появлении и исчезновении электрической силы.

2) Электрические колебания обладают способностью передаваться вдаль, образуя таким образом электрические волны.

3) Во всех точках волны колебания происходят с одинаковой быстротой, т. е. величина электрической силы меняется с одинаковой быстротой.

4) Колебания, или изменения, электрической силы в более отдаленных точках волны запаздывают по сравнению с ее изменениями в точках более близких к месту зарождения волны.

Стоит теперь только сравнить эти свойства электрических волн со свойствами волнового движения материальных частиц, перечисленных в параграфе 7 на стр. 43, чтобы убедиться в полном совпадении этих свойств. Напомним, наконец, что соотношение

$$\text{длина волны} = \frac{\text{скорость распространения}}{\text{частота колебаний}}$$

одинаково применимо ко всем видам волн.

Как ни многообразны формы и проявления волнового движения, все они обладают общими для всех характерными особенностями. Поэтому мы и впредь будем обращаться к более знакомым нам волнам на воде и в воздухе, для того чтобы на их примере уяснить себе свойства волн электрических.

Г л а в а III.

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ ВОЛН. ДОКАЗАТЕЛЬСТВО ВОЛНОВОЙ ПРИРОДЫ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ.

11. Интерференция волн. Тепловые, световые, ультрафиолетовые, рентгеновские лучи — все они объединяются под общим названием коротких электрических волн. Каковы же доказательства того, что распространение этих лучей действительно носит волновой характер?

Легко доказать волновой характер звука, потому что звуковые волны можно сфотографировать (рис. 16). Но как доказать волновой характер света, когда мы в нем никаких волн ни увидеть ни сфотографировать не можем: ведь световые волны представляют собою не колебания материальных тел, а колебания величины электрической силы. Очевидно, доказательство это может быть только косвенным и должно основываться на каком-то особом свойстве волнового движения, отличающем его от всех прочих видов движения. Это свойство называется интерференцией; с ним-то нам и придется теперь познакомиться.

Что произойдет, если в какую-нибудь точку пространства одновременно придут две волны одинаковой частоты? На первый взгляд может показаться, что благодаря совместному действию двух волн колебание частиц воды усилится (рассмотрим сначала волны на воде).

Но стоит лишь немного вдуматься, чтобы понять, что при известных условиях взаимодействие двух волн может не усилить, а ослабить колебание воды. Усиление происходит в том случае, когда к рассматриваемой частице воды одновременно подойдут гребни обеих волн; тогда частица подымется очень высоко, и размах ее колебаний увеличится. Если обе волны обладают одинаковой частотой (или длиной волны), то это усиление колебаний будет продолжаться и в дальнейшем. Например через промежуток времени, потребный для половины колебания, обе волны будут попеременно гнать частицу в одинаковом направлении, но уже не вверх, а вниз. Другими словами, к рассматриваемому месту одновременно подойдут впадины обеих волн, затем опять гребни и т. д.

Предположим теперь, что к рассматриваемой частице одновременно подходят гребень одной волны и впадина другой. Тогда первая волна будет гнать нашу частицу вверх, а вторая вниз. В результате этих противоположных воздействий размах колебаний частицы уменьшится; если же силы (размах) обеих волн будут одинаковы, то частица и вовсе с места не сдвинется — волны друг друга уничтожат. Ясно, что и в дальнейшем наша частица будет оставаться неподвижной, если только обе волны обладают одинаковой частотой; так, через полколебания обе волны поменяются своими ролями — первая будет гнать частицу вниз, вторая — вверх и т. д. Очевидно, что могут быть и промежуточные случаи, когда волны будут только частично ослаблять или усиливать друг друга.

Итак, одновременное действие двух волн одинаковой частоты может либо усилить либо ослабить колебания в зависимости от того, действуют ли эти волны в такт или в разнотакт.

Это свойство волнового движения и называется интерференцией¹⁾; оно присуще не только волнам на воде, но и всем без исключения видам волн. В случае звука волны состоят не из гребней и впадин, а из сгущений и разрежений воздуха. Если совпадают два сгущения или два разрежения (так, как говорят в науке, если фазы волн одинаковы), то звук усиливается; если же сгущение, вызванное одной волной, совпадает с разрежением другой волны („если фазы волн противоположны“), то звук ослабевает. В случае света яркость его усиливается, если интерферирующие световые волны вызывают в рассматриваемом месте появление одинаково направленной электрической силы. Если же фазы волн противоположны, если, например, в данный момент электрическая сила первой волны направлена вверх, а второй вниз, то яркость света ослабевает.

Итак, совместное действие двух звуков может привести к молчанию, двух лучей света — к темноте. Это кажется невероятным, а между тем с этим явлением интерференция мы встречаемся на каждом шагу, только не всегда мы умеем распознавать интерференцию в разнообразных ее проявлениях. Сейчас будет рассказано о некоторых случаях интерференции, но предварительно читатель должен обратить внимание на следующее обстоятельство. Если будет доказано существование интерференции звука, света и т. д., то тем самым будет доказана и волновая природа этих явлений: ведь, поскольку мы знаем, интерференция может иметь место исключительно при волновом движении. Долгое время в науке господствовало убеждение, что ощущение света вызывается попаданием в глаз мельчайших частиц особого рода, которые будто бы вылетают из светящихся тел. Если бы

¹⁾ Интерференция — латинское слово; оно означает „вычитательство“.

это было так, то два световых луча (т.-е. удвоенное число световых частиц) всегда вызывали бы в два раза более яркое ощущение света, чем каждый луч в отдельности. Поэтому открытие интерференции света привнесло с собою крушение этой теории: ведь сущность интерференции и состоит именно в том, что результат одновременного действия двух лучей зависит от их фаз и при известных условиях может повести даже к полной темноте. Всякий раз, когда мы наблюдаем интерференцию, нам приходится предположить, что мы имеем дело с явным или со скрытым волновым движением — другого объяснения интерференции мы не знаем.

12. Избирательное отражение звука и света. О волновой природе звука впервые заговорил великий голландский ученый Гюйгенс, живший около 250 лет тому назад. Привело его к этому следующее наблюдение.

Однажды летом Гюйгенс, гуляя в парке, заметил, что в определенном месте этого парка, недалеко от бывшего в нем фонтана, слышен чистый музыкальный звук. Звук этот был вовсе не похож на шум фонтана, но исчезал, когда фонтан переставал бить. Поблизости в том же парке зимою, Гюйгенс к своему удивлению убедился, что музыкальный тон этот не слышен зимою даже при работе фонтана. Размышляя об этом странном явлении, он пришел к заключению, что звук распространяется по воздуху волнами и что причиной музыкального тона являлось отражение шума фонтана от расположенной вблизи каменной лестницы. Звуковые волны отражались от ее ступеней и при этом интерферировали между собою. В результате усиливались только те волны, которые соответствовали упомянутому тону.

Постарайтесь разобраться в этом объяснении. От ровной твердой поверхности звук отражается так же, как

свет отражается от зеркала ¹⁾. Звуковые волны по прямым линиям распространяются от фонтана, достигают лестницы, отражаются от каждой из ее ступенек, и отсюда попадают в ухо наблюдателя. Как видно из рис. 20, звук, отраженный от нижней ступеньки, пройдет от фонтана до наблюдателя меньший путь, чем звук, отраженный от следующей ступеньки, и т. д. Разница в длине пути обоих звуков равна примерно

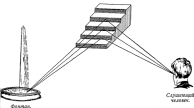


Рис. 20. Отражение звука от лестницы.

удвоенной ширины ступеньки. Собственно говоря, это не два различных звука, а две части одного и того же звука, т. е. одной и той же звуковой волны. При своем возникновении у фонтана обе части волны обладали, конечно, одинаковыми фазами (колебались в такт). Если бы длина пути обеих частей волны была одинакова, то и до уха наблюдателя они дошли бы в одинаковых

¹⁾ Известно, например, что кто высунется отражением звука от стальной гитары, от высокой стены и т. д.

фазах и усилятся бы друг друга. Но длина пути у обеих частей волны разная, и результат их взаимодействия зависит от этой разницы. Если вторая волна отстала от первой на целое число колебаний (например на одно), то волны пройдут в одинаковой фазе и усилятся; если же она отстала на нечетное число полуколебаний, т. е. на целое число с половиною (например на полтора колебания), то волны пройдут в противоположных фазах и взаимно уничтожатся.

Ввиду важности этого рассуждения мы повторяем его еще раз в несколько измененной форме. За время одного полного колебания волна успевает распространиться на расстояние, равное одной длине волны (см. параграф 7). Силою быть, если разность путей обеих звуковых волн равна целому числу длин волн, то одна волна отстанет от другой на целое число колебаний, и волны усилят друг друга. Если, например, разность путей, или, как говорят, разность хода, обеих волн равна одной длине волны, то со вторым гребнем (сгущением) первой волны совпадет первый гребень (сгущение) второй волны, и колебание частиц воздуха усилятся. Наоборот, если разность хода равна нечетному числу полуволн (например три полуволны, иначе полторы волны), то со сгущением (гребнем) одной волны совпадет разрежение (впадина) другой волны, и волны уничтожатся.

Легко понять, что это важное правило применимо ко всем видам волн без исключения: если разность хода двух частей волны равна целому числу волн (т. е. четному числу половинок, например двум волнам, или четырем полуволнам), то волны эти усилят друг друга; если же разность хода двух частей волны равна нечетному числу полуволн, то волны эти уничтожают, или гасят, друг друга.

Но вернемся к фонтану и лестнице. Шум фонтана состоит из смеси звуков самой разнообразной высоты, т. е. из волн разнообразной частоты или длины. Все они отражаются от ступенек лестницы. Разность хода волн, отразившихся от соседних ступенек, приблизительно равна удвоенной ширине ступеньки¹⁾. Какое именно число волн уложится на этой удвоенной ширине ступеньки — это зависит от длины волн, т. е. от высоты звука. Поэтому результат интерференции будет различен для звуков различной высоты: одни из них будут усиливаться, другие — ослабляться. Наибольшее усиление испытает та звуковая волна, длина которой как раз равна удвоенной ширине ступеньки. Действительно, части этой волны, отраженные от первой, второй, третьей и т. д. ступенек, будут отставать друг от друга на одно, два, три и т. д. полных колебаний; следовательно все они будут приходить к уху наблюдателя в одинаковой фазе. Тон, соответствующий этой длине волны, будет особенно явно слышен. Можно сказать, что лестница отсеивает, отбирает этот тон из всей массы разнообразных тонов, составляющих в своей совокупности шум фонтана. Звонкой это отсеивающее действие лестницы на звук прекращается, потому что снег покрывает землю и сглаживает собою неровности и ступеньки.

Этим свойством „избирательного отражения“ звука лестницей можно воспользоваться для измерения длины волн. Для этого следует только измерить ширину ступенек и помножить ее на два — полученное

¹⁾ Если волна падает на ступеньки лестницы нормально, как это изображено на рис. 23, то разность хода будет несколько меньше удвоенной ширины ступенек. Для простоты мы пока пренебрежем этим обстоятельством, чтобы вернуться к нему впоследствии.

число будет, очевидно, равно длине волны того звука, который выделяется из смеси звуков при их отражении от дюны. Таким образом явление интерференции дает нам возможность измерять длину волн. Длину звуковых волн можно измерять и другими, более непосредственными способами, но для коротких электрических волн нет других способов измерения, кроме интерференционного. Частоту электрических колебаний тоже нельзя измерить непосредственно; ее вычисляют по длине волны, измеренной интерференционным способом.

Познакомившись теперь с одним случаем интерференции света, который имеет много общего с интересующей нас интерференцией рентгеновских лучей.



Рис. 21. Отражение света от пленки.

Всем известны красивые цвета мыльных пузырей или радужные переливы тонких плавающих на воде пятен керосина или нефти. Большинство читателей вряд ли задумывалось

над причиной этих красивых явлений, а между тем причина их заключается в интерференции света. Дело в том, что свет, падающий на тонкую пленку мыльного пузыря или пятна керосина, отражается от обеих поверхностей пленки: в глаз наблюдателя вместе с лучами, отраженными от верхней поверхности пленки (луч $ab'a'$ на рис. 21), попадают также и лучи, отраженные от ее нижней поверхности (луч $a'b'a''$, рис. 21). Следовательно яркость отраженного света зависит от одновременного действия обоих этих лучей, т. е. от их интерференции. Из взгляда на рис. 21 становится ясным, что луч $a'b'a''$ проходит на своем пути от источника света (солнца) до наблюдателя боль-

шее расстояние, чем луч aba . Результат интерференции этих лучей зависит от того, на какое количество длин волн путь луча $a'b'a'$ превышает путь луча aba . Смотря по тому, будет ли эта разность хода равна целому числу (1, 2, 3 и т. д.) длин волн или же целому числу с половиной ($\frac{1}{2}$, $1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$), складывающиеся в глазу наблюдателя лучи будут либо усиливать, либо ослаблять друг друга.

Вспомним теперь, что белый свет, например свет солнца, представляет собой смесь световых волн различной длины. Каждая из этих волн, действуя в отдельности, вызывает в глазу определенное цветное ощущение (красное, желтое и т. д.); только смесь их кажется нам белой. Очевидно, что различные составные части солнечного луча будут по-разному отражаться тонкой пленкой. Например те лучи, длина волны которых как раз равна разности хода при отражении от верхней и от нижней поверхности пленки, усилятся при отражении; напротив, волны вдвое большей длины, интерферируя, уничтожат, погасят друг друга. Таким образом от пленки будут отражаться не все составные части белого цвета. При отражении лучи одного цвета будут усиливаться, другого ослабляться, и в результате пленка будет казаться нам не белой, а цветной.

Вы видите, какое глубокое сходство существует между отражением звука от лестницы и отражением света от тонкой нефтяной пленки. В обоих случаях отражение носит избирательный характер: как лестница, так и пленка выделяют из падающих на них волн различной длины волны одного определенного тона (звук) или цвета (свет).

Приведенное объяснение избирательного отражения света и звука несколько упрощено. Дело в том, что, во-первых, свет, проходя через границу между двумя

различными телами (воздух и керосин), преломляется, т. е. несколько изменяет свое направление; поэтому рис. 21 нужно было бы немного изменить, как это указано на рис. 22. Во-вторых, при отражении звука от поверхности и света от верхней поверхности нефтяной пленки происходит так называемая „потеря полуволны“. В-третьих, интерференция может происходить только в том случае, если расстояние между отражающими поверхностями не слишком велико. Есть и еще ряд других обстоятельств, усложняющих явление. Но детали явления нас здесь не интересуют, важно только уяснить себе их сущность.



Рис. 22. Отражение света от пленки. Луч AB падает.

Есть, однако, один вопрос, которого все же необходимо коснуться.

Пленка мыльного пузыря или пятно нефти на воде имеют повсюду примерно одинаковую толщину; почему же в разных местах они кажутся различно окрашенными? Другими словами,

почему различные участки пленки отражают в наш глаз лучи различного цвета? Объясняется это просто. Дело в том, что разность хода отраженных лучей, от которой зависит окраска пленки, в свою очередь зависит не только от толщины пленки, но и от угла падения и отражения лучей. Рассматривая рис. 23, легко убедиться, что, чем наклоннее падают лучи света на пленку, тем меньше будет разность хода между отраженными лучами. Наклон лучей, падающих в глаз наблюдателя, зависит от положения рассматриваемого участка пленки: чем дальше этот участок, тем наклоннее идущие от него лучи (см. рис. 24). Стало быть и разность хода отраженных лучей, а сле-

довательно и кажущаяся окраска пленки действительно должна зависеть от положения рассматриваемого участка пленки. Правда, наклон лучей, идущих от смежных участков пленки, очень мало отличается друг от друга, но зато и длина световой волны очень мала. Напри-

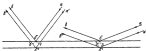


Рис. 23. Зависимость разности хода от угла падения. Путь луча $A'B'$ больше пути луча AB на длину участка AB . На правом рисунке (более наклонное падение лучей) эта разность путей меньше, чем на левом (менее наклонное падение).

мер длина волны фиолетового цвета равна $4/10\,000$ мм. Если разность хода между нижним и верхним отраженным лучем изменится только на $2/10\,000$ мм, т. е. на половину длины волны, то это уже совершенно переменит характер отражения фиолетовых лучей: если пер-



Рис. 24. Наклон лучей зависит от положения рассматриваемого участка.

воначально эти лучи отражались хорошо, то теперь они вовсе отражаться не будут, и наоборот.

Итак, цвет лучей, отражаемых пленкой, зависит не только от толщины пленки, но и от наклона лучей, от угла падения и отражения их. Другими словами, для ка-

идного цвета, для каждой длины волны, существует свое особое направление преимущественного отражения. От обыкновенного зеркала световой луч отражается всегда, при чем угол отражения равен углу падения. При отражении же от двойного зеркала — от пленки — хотя последнее условие остается в силе, зато самый факт отражения не всегда имеет место. Пленка отражает падающие на нее световые волны только в том случае, если эти волны имеют нужную, „избранную“ длину. Для каждого направления отражения существует своя особая избранная длина волны.

13. Строение кристаллов. После проделанной работы читателю должен быть ясен путь к доказательству волновой природы рентгеновских лучей. Для этого необходимо и достаточно доказать существование интерференции этих лучей. Мы знаем, что интерференцию волн можно получать при отражении их от двух близких гладких поверхностей; так, например, интерференция проявляется в избирательном отражении звуковых волн от ступенек лестницы и световых волн от поверхности тонкой прозрачной пленки. Путь к решению задачи вполне ясен; вся трудность ее заключается в том, чтобы найти подходящие отражательные поверхности.

Дело в том, что для получения интерференции отражательные поверхности должны быть, во-первых, достаточно гладкими, во-вторых, достаточно близкими друг к другу. Начнем со второго требования. При каких условиях две поверхности могут быть названы достаточно близкими? Ответ на этот вопрос всецело зависит от того, с чем мы будем сравнивать расстояние между поверхностями, каким мерилom мы будем пользоваться. Для звука ширина ступеньки лестницы оказалась достаточно малой, для света же понадобилась тонкая нефтяная пленка, толщиной всего в сотые или тысячные

дли миллиметра. Что же должно служить мерилом расстояния при интерференции? Ответ прост — длина интерферирующих волн. Расстояние между отражающими поверхностями должно быть примерно той же величины, как и длина отражаемых волн. Звуковая волна имеет несколько десятков сантиметров длины, ширина ступеньки лестницы примерно той же величины. Световые волны имеют длину нескольких десятитысячных долей миллиметра; для них нужно брать очень тонкую мыльную или нефтяную пленку. Наконец рентгеновские волны имеют длину в несколько десятимиллионных долей миллиметра; стало быть для изучения их интерференции нужно найти поверхности, которые отстояли бы друг от друга на таком же примерно расстоянии.

Отражающие поверхности кроме того должны быть достаточно гладкими. Это выражение „достаточно гладкий“ тоже имеет смысл только в том случае, если указано мерло гладкости. Для отражения света нужна гладкая поверхность зеркала или спокойной воды, для звука же и каменные ступеньки лестницы достаточно гладки. Мерлом гладкости опять служит длина волны. Если шероховатости и неровности на поверхности малы по сравнению с длиной волны, то эта волна от этой поверхности отразится „правильно“, т. е. так, как луч света отражается от зеркала. Обыкновенные зеркала конечно непригодны для отражения рентгеновских лучей: как бы тщательно они ни были отшлифованы, все же шероховатости на них будут очень велики по сравнению с длиной рентгеновской волны.

Итак, для изучения интерференции рентгеновских лучей нужно найти также отражающие поверхности, которые находились бы друг от друга на расстоянии примерно в $\frac{1}{1000000}$ м и шероховатости на которых были бы малы по сравнению с этим расстоянием. Долгое

прежняя задача эта казалось неразрешимой, пока в 1912 году немецкому физiku Лауэ не пришла в голову чрезвычайно остроумная мысль воспользоваться для этого внутренними поверхностями кристаллов. Постараемся пояснить, что означают эти слова.

Всем известно, что кристаллами называются твердые тела очень правильной формы с гладкими гранями и острыми резкими ребрами и углами (см. рис. 25). Суще-



Рис. 25. Кристаллы.

ственно важно, что эта правильная форма является естественным свойством кристалла, а не придается ему искусственной полировкой и отделкой. Любой стеклышке можно придать форму кристалла, но от этого она кристаллом не станет. В горных породах часто встречаются довольно крупные кристаллы (например кристаллы горного хрусталя). Некоторые вещества легко получают в виде крупных кристаллов из водных растворов: если

дать воде медленно испаряться, то растворенное вещество выделяется на дне в форме кристаллов. Этим способом легко, например, получить синие кристаллы медного купороса.

Чем же объясняется правильность внешней формы кристаллов? Очевидно, что она является внешним проявлением каких-то внутренних свойств кристалла. В настоящее время твердо установлено, что правильность внешней формы только отражает собою правильное, закономерное расположение атомов внутри кристалла. В газах атомы и молекулы носятся, летают и сталкиваются в хаотическом беспорядке; в жидкостях они расположены гуще, плотнее, но все же непрерывно двигаются и меняются местами; в кристаллах же атомы расположены в определенном порядке на строго определенном расстоянии друг от друга: каждый атом занимает свое определенное место. Правда, и в кристаллах существует тепловое движение атомов, но при этом каждый атом совершает только небольшие колебания; далеко от своего места он не удаляется и не меняется местами с соседними атомами²⁾.

В настоящее время нам хорошо известно расположение атомов в различных кристаллах. Возьмем для примера кристаллы обыкновенной поваренной соли, которые можно получить из раствора соли в воде. Кристаллы эти имеют форму правильного куба. В этой внешней форме проявляется внутреннее расположение атома, которые в поваренной соли располагаются, как говорят, по узлам кубической решетки. Чтобы представить себе наглядно такое расположение, вообразите, что из маленьких детских кубиков сложен большой куб; вообразите себе кроме того, что вам удалось на проволоках укрепить по

²⁾ Вернее перемены места происходят чрезвычайно редко.

маленькому шарiku в каждом из „узлов“ нашей постройка, т.-е. в каждом из тех мест, в которых сходятся вместе углы или вершины соседних кубиков. Если бы нам удалось после этого убрать кубики прочь, оставив шарики на своих местах, то шарики эти оказались бы расположенными по углам кубической решетки, т.-е. так, как расположены атомы в кристалле поваренной соли (рис. 26).

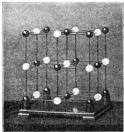


Рис. 26. Кубическая кристаллическая решетка. Расположение белых и черных шариков соответствует расположению атомов хлора и натрия в кристалле поваренной соли.

Конечно не все кристаллические решетки имеют такой простой кубический вид. Чтобы получить модель решетки других кристаллов, нам пришлось бы складывать не обыкновенные кубики, а деревяшки более сложной формы: скошенные или вытянутые параллелепипеды, шестигранные, пирамиды и т. д. Но суть дела это, конечно, не меняет. Те точки, в которых сходятся вер-

шины деревяшек или кирпичиков, называются узлами решетки; расположение узлов соответствует расположению атомов внутри кристаллов. Конечно все наши модели кристаллических решеток во много раз увеличены по своим размерам; в кристаллах ведь расстояние между атомами измеряется всего только десятичными долями миллиметра!

Чтобы получить модель кристаллической решетки, мы складывали постройки из деревяшек или кирпичиков. Всякую кирпичную кладку можно считать составленной из наложенных друг на друг слоев, причем направление этих слоев можно выбрать по произволу. Можно считать, что кладка состоит из лежащих друг на друге горизонтальных слоев кирпича, или что она состоит из граничащих друг с другом вертикальных стенок, или, наконец, что она состоит из ряда наклонных ступенчатых слоев. Подобно этому и всякую кристаллическую решетку, всякий кристалл можно считать составленным из наложенных друг на друга слоев атомов; в каждом таком слое атомы расположены в шахматном порядке. Вот эти слои атомов в кристалле и называются внутренними поверхностями кристалла.

Эти внутренние поверхности, эти слои атомов важны для нас тем, что только с их помощью и можно получить интерференцию рентгеновских лучей. Хотя эти поверхности и не сплошь усажены атомами, все же атомы расположены на них так густо, что рентгеновские луча отражаются от этих внутренних поверхностей, как свет отражается от зеркала, или, точнее, от поверхности воды или от нефтяной пленки. Последние два сравнения дают нам более правильную картину отражения рентгеновских лучей от кристаллов, так как эти луча частично проходят сквозь слои атомов, подобно тому как свет частично проникает через поверхность воды. Атомы

расположены в кристаллах в таком строго безупречном порядке, что слои их оказываются гладкими даже по сравнению с длиной рентгеновской волны. Расстояние между слоями атомов тоже оказывается подходящим для интерференции рентгеновских лучей: расстояние это имеет примерно такую же величину, как и длина рентгеновской волны.

14. Интерференция рентгеновских лучей. Итак, в кристалле мы имеем в готовом виде естественный прибор для изучения рентгеновских лучей. Чтобы разобраться в том, как происходит интерференция этих



Рис. 27. Отражение рентгеновских лучей.

лучей, вообразим себе, что из кристалла вырезан один горизонтальный слой атомов; атомы эти будут расположены правильными рядами. Предположим далее, что на этот слой падает горизонтальный пучок рентгеновских

лучей (рис. 27). Эти лучи частично отразятся от первого ряда атомов, частично же проникнут дальше и отразятся от второго, третьего и т. д. рядов. Лучи эти будут, очевидно, интерферировать друг с другом.

Если вы вспомните теперь зеркальное отражение от тонкой пленки, то заметите конечно, что между обоими этими случаями существует полное сходство. Существенных различий только два. Во-первых, интерференцию света можно изучать простым глазом, а для рентгеновских лучей нужен искусственный глаз — фотографическая пластинка. Во-вторых, в нефтяной или мыльной пленке только две отражающих поверхности (верхняя и нижняя), а в кристаллах их чрезвычайно

много. Зато во всем остальном можно почти дословно повторять все рассуждения предыдущей главы.

На пути от источника рентгеновских лучей (рентгеновской трубки) до фотографической пластинки различным лучам придется пройти различные расстояния в зависимости от того, от какого именно ряда атомов они отразятся. Стало быть между лучами будет существовать разность хода, величина которой зависит от расстояния между рядами атомов и от угла падения лучей. Следовательно лучи эти будут интерферировать между собою, при чем результат интерференции будет зависеть как от разности хода, так и от длины волн рентгеновских лучей; иными словами, отражение рентгеновских лучей от кристалла должно носить избирательный характер.

Вы видите, как гениально проста была мысль Лауэ! Если мы не можем приготовить для рентгеновских лучей достаточно гладких и достаточно близких друг к другу зеркал, так воспользуемся же готовыми, имеющимися в природе зеркалами — внутренними слоями атомов в кристаллах. При этом нам вовсе не нужно гадать за тем, чтобы внешняя поверхность кристаллов была гладка и отшлифована. Какие бы царапины и выбоины ни были на поверхности кристалла, внутренние атомы сохраняют в нем стройное, строго упорядоченное расположение; внешний ущерб кристаллу нанести можно, но внутреннюю организованность его разрушить нельзя. Мысль Лауэ кажется нам теперь простой до очевидности, но не забудьте, что она была высказана им тогда, когда волновая природа рентгеновских лучей подвергалась сомнениям, когда даже о расположении атомов в кристаллах существовали только косвенные догадки. Справедливость наших теперешних взглядов на строение кристаллов и на природу рентгеновских лучей была

доказана только тогда, когда опыт Лауэ увенчался успехом и подтвердил его догадку об избирательном характере отражения рентгеновских лучей от кристаллов.

В предыдущем изложении мною сознательно допущена некоторая неточность. Все физические явления в сущности чрезвычайно просты, но понять и разглядеть эту простоту дается не легко; даже вполне правильное мысли редко показывается сразу же в наиболее простой своей форме. Только путем упорной умственной работы и с помощью тщательных опытов удастся выявить в первоначально сложной теории ее простую и наглядную сущность. Открытие Лауэ тоже испытало эту судьбу. Первоначальный опыт Лауэ по существу не отличался от только что нами описанного, но выполнение и толкование его было несравненно более сложным. Вместо того чтобы наблюдать интерференцию рентгеновских лучей при их отражении от кристалла, он наблюдал прохождение этих лучей сквозь кристалл. Уже через год после открытия Лауэ английские ученые, отец и сын Братти, упростили опыт Лауэ и придали ему описанную выше форму. Таким образом в предыдущем я допустил историческую неточность, но сути дела это не меняет; сделал я это только для упрощения изложения.

15. Как убедиться в избирательном характере отражения рентгеновских лучей от кристаллов? Характеристичные лучи. Спектры рентгеновских лучей. В предыдущем параграфе мы познакомились с основной мыслью Лауэ (индоговоренной Браттами). Состоит она в следующем. Если рентгеновские лучи представляют собою короткие электрические волны, то при отражении от кристаллов они должны интерферировать друг с другом. Эта интерференция будет проявляться в избирательном характере отражения лучей. Иными словами,

из падающей на кристалл смеси рентгеновских волн различной длины при отражении будут особенно усиливаться волны одной определенной длины. Длина (или частота) этой „выбранной“ волны определяется разностью хода при отражении от внутренних поверхностей кристаллов. Величина этой разности хода зависит от наклона падающих на кристалл лучей и от расстояния между его внутренними поверхностями.

Каким же образом можно убедиться в действительном существовании этого избирательного отражения? Со светом дело обстоит просто — цветная переливающаяся окраска тонкой пленки мыльного пузыря убеждала нас в этом. Глаз человеческий по цвету может судить о длине отраженной световой волны. В случае же рентгеновского „света“ нужен какой-то особый способ, для того чтобы подтвердить избирательный характер его отражения. Можно воспользоваться тем обстоятельством, что жесткость, т. е. проникающая способность, рентгеновских лучей зависит от длины волны; измерив жесткость отраженных лучей, можно судить о длине их волны. Но самый важный и простой способ основан на существовании так называемых характеристических рентгеновских лучей. Об этих лучах вам теперь и придется поговорить.

Мы говорили уже о том, что длина рентгеновской волны зависит от силы удара электрона об антикатод. Но мы еще не упоминали о том обстоятельстве, что длина этих волн зависит еще и от материала антикатада. Рентгеновская трубка всегда излучает смесь волн различной длины, но в этой смеси могут преобладать волны той или иной длины, того или иного „сорта“. Какой именно „сорт“ волн преобладает в смешанном излучении трубки, это зависит в первую голову от материала антикатада. Для каждого материала, каждого

вещества характерно преобладание определенных „сортов“ волн. Вот эти-то излюбленные антикатодом сорта волн и называются характеристическими лучами.



Рис. 28. Интерференция рентг. лучей.

кристалла? Прежде всего благодаря этому станет перемещаться место попадания отраженных лучей на пластинку, подобно тому как при повороте зеркала меняется положение светового „зайчика“, отбрасываемого им на потолок или стену (рис. 29).

Поэтому по мере вращения кристалла действию лучей будут подвергаться все новые и новые участки фотографической пластинки, и она почернеет по всей своей длине. Но будет ли это почернение равномерным по всей длине пластинки?



Рис. 29.

Если бы мы имели дело с отражением от обыкновенного зеркала, то на этот вопрос нужно было бы ответить утвердительно. При вращении зеркала меняется только положение светового „зайчика“, но не меняется

его яркость, а от яркости освещения зависит степень почернения фотографической пластинки. Кристалл же представляет собою сложное зеркало, состоит из многих отражающих слоев, а потому отражает избирательно. Другими словами, кристалл отбрасывает на фотографическую пластинку волну только одной определенной, „избранной“ им длины. По мере поворота кристалла меняется не только направление отраженных от него лучей,

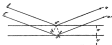


Рис. 30 и 31. Зависимость разности хода лучей от угла падения. Путь луча $a'b'a'$ больше пути луча $a'b$ на длину участка $a'b'$. На правом рисунке (более наклонное падение лучей) эта разность путей меньше, чем на левом (менее наклонное падение).

но и разность хода между лучами, отраженными от соседних, внутренних поверхностей кристалла ¹⁾ (рис. 30 и 31.) Стало быть при повороте кристаллов меняется длина отраженной волны, и различные участки фотографической пластинки, по которым пробегает рентгеновский „зайчик“, освещаются рентгеновскими волнами различной длины.

Теперь уже легко понять роль характеристических лучей в интересующем нас вопросе. В смеси рентге-

¹⁾ Читателю помане будет перепутать сие реч с сказанное на стр. 82 по поводу рис. 28 и 29.

новских лучей, излучаемых рентгеновской трубкой, особенно яркостью и силой отличаются характеристические луча антикатада. Поэтому при равномерном вращении кристалла пластинка почернеет неравномерно. Особенно сильно почернеют те участки пластинки, на которые падают волны наиболее ярких характеристических лучей. На помещаемом снимке (рис. 32) на ровном темном фоне почерневшей пластинки отчетливо видны черные полосы или линии — места, которые освещались отраженными характеристическими лучами. Такие снимки рентгеновских лучей, сделанные с помощью вращающегося кристалла или другим каким-либо подобным способом, называются спектрами рентгеновских лучей ¹⁾.



Рис. 32. Спектр рентг. лучей.

Наличие темных линий на снимках спектров доказывает избирательный характер отражения рентгеновских лучей. Действительно, при обычном отражении от зеркала каждый участок пластинки в свой черед (по мере поворота зеркала) испытал бы одновременное действие всех рентгеновских лучей всех возможных длин волн, стало быть все участки пластинки почернели бы одинаково. Только при избирательном отражении волны различных длин рассортировываются по различным участкам пластинки и вызывают появление полос на ней.

Итак, снимки спектров доказывают избирательное отражение, а стало быть и самую интерференцию рентгеновских лучей. Задача, которую мы себе поставили

¹⁾ Название „спектр“ заимствовано из учения о видимом свете: о световом спектре см. любой учебник физики (обычно световой спектр получается иным способом, основанным на преломлении лучей в призме).

в начале этой главы, выполнена. Конечно одним снимком удовлетвориться нельзя; конечно было проделано бесчисленное количество перекрестных проверочных опытов с различными кристаллами, в различных положениях, с различными трубками, с различными антикатадами. Все эти опыты подтверждали интерференционное происхождение черных линий в спектре. Опыт Лауэ удался блестяще, оправдал все предсказания и доказал волновую природу рентгеновских лучей.

16. Измерение длины волны. Размеры кристаллической решетки. Нам остается вкратце рассказать о том, как производится самое измерение длины рентгеновских волн.

Снимки спектров дают возможность вычислить длину рентгеновской волны только в том случае, если известно расстояние между слоями атомов в кристалле. Предположим, например, что нужно определить длину волны какого-нибудь характеристического луча. По темной линии в спектре известно, при каком именно положении кристалла этот луч отражается; другими словами, при каком положении кристалла разность хода между его внутренними слоями равна длине волны этого луча. Зная положение кристалла, т.е. угол падения и отражения лучей, и зная расстояние между слоями атомов, легко вычислить эту разность хода. Длина этой разности хода, как только что указывалось, будет равна искомой длине волны.

Очевидно, что это рассуждение можно провести и в обратном порядке и что, стало быть, можно, обратно, вычислить расстояние между слоями атомов в кристалле, если только известна длина рентгеновской волны.

Итак, по длине волны можно определить расстояние между атомами, а по этому расстоянию длину волны.

Но нужно же с чего-то начать, одну какую-нибудь величину нужно определить каким-то, независимым способом. Оказалось возможным определить таким независимым способом расстояние между атомами в некоторых кристаллах. Легче всего проделать такой расчет для кристаллов кубических, например кристаллов поваренной соли. Мы уже говорили, что эти кристаллы построены очень просто: атомы расположены по углам кубической решетки. Как указывалось, модель такой решетки можно сложить из небольших кубиков или из кирпичей кубической формы. Таким образом расположение атомов в кристалле поваренной соли известно, остается только узнать истинное расстояние между соседних атомов; иначе говоря, остается узнать, какой длины должно было бы быть ребро кирпичика, чтобы наша модель по величине совпадала с решеткой настоящего кристалла. Этот расчет проделать возможно, ибо число атомов в кристалле поваренной соли заданной величины известно. Все вычисления сводится к такой простой задаче: известен объем большого куба (всего кристалла), кроме того известно число маленьких кубиков или кирпичиков, из которых он сложен (число атомов); найти размеры маленьких кирпичиков⁵⁾.

⁵⁾ Приводим для более подготовленного читателя этот расчет. В грамм-молекуле любого вещества содержится $6,06 \cdot 10^{23}$ молекул. Грамм-молекула поваренной соли (NaCl) весит $58,46$ плюс $58,46 = 116,92$ г. Решетка построена не из данных молекул, а из отдельных атомов натрия и хлора; на каждый атом приходится по маленькому кубу, значит общее число этих кубиков в $116,92$ г равно $2 \times 6,06 \cdot 10^{23}$. Иными словами, грамм-молекула ($58,46$ г) поваренной соли занимает объем $126,5$ см³. Следовательно объем одного кубика равен:

$\frac{126,5}{2 \times 6,06 \cdot 10^{23}}$ см³, а длина его ребра равна:

$$\sqrt[3]{\frac{126,5}{2 \times 6,06 \cdot 10^{23}}} = 2,814 \cdot 10^{-8} \text{ см} = \frac{2,814}{100000000} \text{ см}.$$

Таким образом, расстояние между соседними атомами.

Таким образом удалось определять расстояние между атомами в кристалле поваренной соли. Конечно удалось это только потому, что характер расположения атомов внутри кристалла был заранее известен. На кубический характер расположения атомов указывает уже внешняя форма кристалла. Однако одного этого недостаточно. Чтобы убедиться в правильности вычислений, необходимо получить некоторые дополнительные данные о расположении атомов; эти данные можно получить только с помощью рентгеновских лучей. Для этого вовсе не нужно знать длину рентгеновской волны. Чтобы выяснить способ расположения атомов в кристалле, нужно сравнить между собою ряд снимков спектра рентгеновских лучей, полученных отражением от различных граней кристалла. Из результатов такого сравнения можно сделать ряд выводов о расположении атомов. Лишь для того, чтобы определить величину взаимного расстояния атомов, нужно, кроме того, либо знать длину рентгеновской волны, либо проделать указанное выше вычисление.

Раз определено расстояние между атомами хотя бы одного только кристалла, все остальное приходит уже само собой. С помощью этого кристалла измеряют длину волн характеристических лучей; зная эти длины волн, можно в свою очередь измерить расстояние между атомами в других кристаллах. Таким путем до настоящего времени определено строение более сотни различных кристаллов. Строение некоторых из них оказалось очень сложным; на рис. 33 изображена модель алмаза — расположение черных шариков в этой модели соответствует расположению атомов в кристалле алмаза.

Как тесно переплелась история развития двух, казалось бы ничем не связанных, отраслей науки — учение

о кристаллах и исследование коротких электрических волн, волн Рентгена! Без взаимной поддержки и сотрудничества этих отраслей было бы немислимо то колоссальное углубление и расширение наших знаний, которое с такою быстротою последовало за открытием Лауэ. На протяжении всей книжки нам все время приходилось наблюдать такое переплетение различных областей науки — учение о звуке и учение о свете, искра и рентгеновские лучи, радио-сигналы и тепловые лучи и т. д., и т. д.

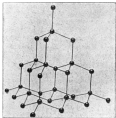


Рис. 33. Расположение атомов в кристалле алмаза.

Рассказанный в последних параграфах эпизод из истории науки лишний раз подтверждает, что нет отдельных наук, а есть лишь одна всеобъемлющая наука. Только удобство изучения заставляет нас искусственно разграничивать наши знания на отделы, сосредоточивать наше внимание на одной какой-нибудь группе вопросов.

Это неизбежно, но в сущности противоестественно. Нельзя никогда забывать, что подразделение на рубрики и графы привнесено нами, а не лежит в природе вещей; мир действительности един в своей всеобъемлющей связанности. Поэтому вернейший и необходимый путь к быстрому развитию науки — возможно более близкое и тесное сотрудничество и смычка различных ее отраслей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

17. Практические применения рентгеновских лучей. За 30 лет, прошедших со времени открытия рентгеновских лучей, наши знания о них накапливались и углублялись с необычайной быстротой. Эта быстрота успехов объясняется несомненно громадным практическим значением рентгеновских лучей. Самому Рентгену будущая роль открытых им лучей была ясна с самого начала — недаром же первое сообщение о своем открытии он сделал не в физическом, а в медицинском обществе. С течением времени открывались новые неожиданные области применения рентгеновских лучей. Их практическое и технико-экономическое значение стало очень обширным.

Самая важная область применения рентгеновских лучей — медицина. Врач пользуется ими для двух различных целей: во-первых, для исследования внутренностей человека, во-вторых, для непосредственного лечения.

Мы уже рассказывали в главе I о том, как с помощью невидимых рентгеновских лучей оказывается возможным заглянуть внутрь живого человека. Человеческое тело задерживает, поглощает часть падающих на него рентгеновских лучей, и потому отбрасывает „рентгеновскую“ тень на стоящую позади него фотографическую пластинку. Кости поглощают рентгеновские лучи сильнее мягких частей тела, поэтому тень от костей гуще, темнее.

Фотографическая пластинка чернеет неравномерно, на ней отпечатывается теневая картина, которая и представляет собою рентгеновский снимок. Вместо того чтобы фотографировать эту теневую рентгеновскую картину, ее можно рассматривать глазами, если только прибегнуть к помощи светящегося вещества (стр. 32). Конечно этим способом можно исследовать не только кости, но и посторонние металлические предметы, засевшие

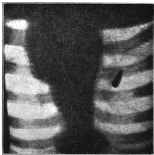


Рис. 34. Рентгеновский снимок грудной полости человека с засевшей пулей.

в человеческом теле (осколки, пули и т. д.); металлы еще менее костей прозрачны для рентгеновских лучей.

Понятно, какое громадное значение имеют эти рентгеновские снимки для медицины. Врачу не приходится

теперь работать „втемную“, как приходилось прежде; он „видит“ все частности и детали перелома или болезни кости, определяет положение осколка снаряда и т. д. Для успеха всякой сколько-нибудь серьезной операции эти снимки совершенно незаменимы. И какой степени точности удалось уже при этом достигнуть! В глаз иногда попадают мельчайшие металлические осколки. Чтобы спасти глаз, нужно перед операцией точно определить положение осколка, чтобы в напрасных поисках его не повредить прилегающих нежных тканей глаза. Рентгеновские снимки дают возможность определить положение осколка в глазу с точностью до четверти миллиметра! Или другой пример: при раздроблении кости рентгеновский снимок дает возможность отличить мертвые осколки кости от еще живых осколков. Изучив снимок, врач уверенно оперирует больного и удаляет все мертвые осколки, оставляя живые осколки на месте и тем облегчая сращивание раздробленной кости.

Можно ли с помощью „рентгена“ (таким сокращенным именем врачи называют рентгеновский аппарат и рентгеновские снимки) исследовать другое, не костное, внутренние органы человека? Можно, хотя не всегда это оказывается простой задачей. Понятно, что если соседние участки тела одинаково прозрачны для рентгеновских лучей, то на теневой картине их нельзя будет отличить друг от друга, ибо темнота от них будет одинаково густая. К сожалению, почти все важные человеческие органы, находящиеся в брюшной полости, обладают одинаковой прозрачностью. Поэтому для их исследования приходится прибегать к различного рода ухищрениям. Например для того, чтобы врач мог разглядеть на снимке форму желудка и кишечника, больному приписывают в пищу безвредное вещество: углекислый висмут. Висмут даже в очень небольшом коли-

чество почти совершенно непрозрачны для рентгеновских лучей. Поэтому, когда принятый в пищу висмут попадает в желудок и кишечник, органы эти становятся непрозрачными для рентгеновских лучей и отбрасывают на пластинку густую тень. Сердце и легкие можно сфотографировать без всяких усищений с помощью „рентгена“; легко определить расширение сердца, начало туберкулеза легких и т. д. Вообще область применения рентгеновских снимков в медицине громадна, и приносимая ими польза неоценима.

Быстро развивается и другая область врачебного применения рентгеновских лучей: использование их для непосредственного лечения. Дело в том, что длительное освещение рентгеновскими лучами оказывает сильное влияние на подвергавшиеся освещению участки человеческого тела. Первые работники по рентгену не подозревали этого, не принимали никаких предохранительных мер и жестоко поплатились страшно мучительными, парализующими в течение многих лет ожогами рук, потерей ногтей и волос и многим другим. Мучения этих пионеров (передовиков) науки не пропали даром, и в настоящее время возможность таких несчастных случаев исключена. Но вредные яды при разумном употреблении часто оказывают пользу: вспомните, например, мышьяк. Точно так же и это разрушительное действие рентгеновских лучей на ткани человеческого тела¹⁾ нашло себе теперь ряд чрезвычайно полезных применений. Нужно было только суметь воспользоваться разной степенью чувствительности различных тканей тела к рентгеновским лучам; кроме того нужно умело подбирать сорт (жесткость) рентгеновских лучей. Освещение этими лучами применяется теперь при лечении кожных болезней (лишай,

¹⁾ В некоторых условиях рентгеновские лучи, наоборот, способствуют росту тканей тела.

волчанка), злокачественных опухолей, в частности страшной болезни рака, при лечении болезней волос (жолтух), некоторых женских болезней и т. д. Одним словом медицинское значение рентгеновских лучей громадно. Невозможно представить себе современную медицину без рентгеновских снимков и рентгеновского лечения; недаром же во время мировой войны все державы обращали самое серьезное внимание на рентгеновское оборудование лазаретов — без помощи „рентгена“ не удалось бы подлечивать человеческий материал для вторичной посылки его в кровавую бойню.

В последнее время чрезвычайно быстро растет техническое значение рентгеновских лучей. Техническое применение рентгеновских лучей тоже бывает двойного рода: во-первых, фотографические снимки и просвечивание, во-вторых — исследование строения металлов.

Роль просвечивания в технике мало чем отличается от его роли в медицине. Жесткие рентгеновские лучи проходят через сравнительно толстые слои металлов (например сквозь $7\frac{1}{2}$ см стали) и других технических материалов (сквозь 30—40 см дерева). Если нужно убедиться в доброкачественности какой-нибудь ответственной машинной части, если нужно убедиться в отсутствии внутренних изъянов в ней (пустоты, неоднородное строение), то на помощь приходят рентгеновские лучи. При сваривании металлов электрической или ацетиленовой сваркой лучший и надежнейший способ открыть оставшуюся неплотность или щель — рентгеновский снимок. Стальные лопатки для быстро вращающихся турбин, винты для аэропланов и т. д. проверяются теперь рентгеновскими лучами (рис. 35). С помощью их можно рассмотреть ход волокон в дереве, увидеть внутренние изъяны в нем, определять породу и сорт дерева; можно проверять, все ли в порядке в заряженной гранате,

бомбе или мине; с помощью рентгеновских лучей отличают драгоценные камни от поддельных, тухлые яйца от свежих, картины старых художников от современных подделок и т. д., и т. д.

Не менее, если не более важное техническое значение,

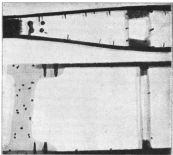


Рис. 35. Рентгеновский снимок части корпуса. Сама вахта — деревянная стойка; видно, что она склеена из тонких слоев дерева. Черные точки и черточки в ней и на верях — точки от металлических гвоздей и винтов.

имеет значение строения металлов. В технике частыми металлами пользуются очень редко, обыкновенный технический материал — сплавы разного рода. Разнообразие применяемых сплавов чрезвычайно велико; все многочисленные сорта сталей: никелевая, марганцевая, хро-

мистая, вольфрамовая и т. д.,—все это, в том числе и „обыкновенная“ сталь,—сплавы различного состава. Замечательно, что иногда небольшое изменение состава сплава ведет к неожиданному, резкому изменению его свойств, к появлению в нем новых, иногда очень ценных качеств.

Основная задача металлургии — получение металлических сплавов нужного качества, стало быть нужного состава. Разыскивание новых сплавов, контроль над производством уже известных сортов — одна из важнейших задач металлургической техники. Над решением этих задач техника приходилось до последнего времени работать более или менее „вслепую“, ощупью, чутьем и догадкой.

Рентгеновские лучи обещают в близком будущем внести и в эту область человеческой деятельности ту же ясность, какую внесли они в дело хирургического врачевания.

Все металлы, как, впрочем, и громадное большинство твердых тел, состоят из скопления мельчайших микроскопических кристалликов. В строении этих кристалликов — ключ к решению вопроса о свойствах сплавов и о зависимости этих свойств от состава сплавов. В последнем параграфе уже говорилось, что с помощью рентгеновских лучей можно исследовать строение кристаллов. Правда, способ отражения от кристалла, о котором там было рассказано, применим только к крупным, цельным кристаллам; однако видоизменение этого способа дает возможность исследовать строение даже тех микроскопических кристалликов, из скопления которых состоят металлы. Эта новая область применения рентгеновских лучей стала развиваться в самые последние годы, но все предвещает ей полную успехов будущность.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение	5
Глава I. Проникновение ионизирующего излучения через газ	7
Получение рентгеновских лучей и их свойства	7
1. Открытие Рентгена	7
2. Электрический разряд через газ	9
3. Манометры и их строение	15
4. Еще об электрическом токе через газы	18
5. Катодные лучи	23
6. Устройство рентгеновской трубки. Некоторые свойства рентгеновских лучей	28
Глава II. Электрические колебания и волны	40
7. Волны на воде и в воздухе. Основные свойства поперечного движения	41
8. Что такое электрические волны?	48
9. Различные виды электрических волн	53
10. Рентгеновский свет. Гамма-лучи	62
Глава III. Интерференция волн	71
11. Интерференция волн	71
12. Избирательное отражение звука и света	74
13. Строение кристаллов	82
14. Интерференция рентгеновских лучей	88
15. Как убедиться в избирательном характере отражения рентгеновских лучей от кристаллов? Характеристические лучи. Спектры рентгеновских лучей	90
16. Измерение длины волны. Размеры кристаллической решетки	98
Заключение	
17. Практические применения рентгеновских лучей	100

СОЛДН, Ф.

РАДИЙ И СТРОЕНИЕ АТОМА

Перев. с 4-го английск. изд. проф. Н. А. Шамова.

Стр. 366. (Серия „Природа и Культура“). Ц. 1 р. 60 к.

Книга Солда развертывает перед читателем-естествоиспытателем действительно глубоко научную и увлекательную картину неизвестной до сих пор тайны природы и раскрывает архаичные, нога и широкие образы, то, что в этой области уже известно и что предстоит изобрести. Под пером автора вопрос не чисто научной задачи разрабатывается до глубоко философской проблемы и переходит в красивый план научной мечты. (Из предисл. проф. Н. А. Шамова.)

Книга автора, одного из творцов теории распада атомов, — не компиляция, а первоисточник, и знакомит читателя с самой настоящей наукой. Подходит для самообразования, работников и старшеклассников школы II ступени*.

(„Вестник Книжки“, 1934 г., № 9—10.)

СВЕДБЕРГ, Г., проф.

МАТЕРИЯ

ИЕ ИССЛЕДОВАНИЕ В ПРОШЛОМ И НАСТОЯЩЕМ

Перев. с нем. С. А. Алексеева. Под ред. А. Н. Фрумкина. С предисл. статьи Э. Ренефорда „Электрическая природа материи“.

Стр. 164. (Серия „Природа и Культура“) С 15 рис. Ц. 1 р.

Проф. Сведберг излагает исследование материи в прошлом и настоящем. Так как наукой, исследующей материю, является химия, то, химия основой, химия проф. Сведберга представляет собой историю химии как таковой, обзор истории химии.

Обзор химии проф. Сведберга удачно дополнен статьей проф. Ренефорда „Электрическая природа материи“, в которой популярно, ясно и для подготовленного читателя, излагается новейшее открытие физики*.

(„Книголюб“, 1934 г., № 36.)

ФЛЕМИНГ, Дж.

ВОЛНЫ В ВОДЕ, В ВОЗДУХЕ И ЭФИРЕ

Перев. с 4-го пересмотренного английского издания А. Н. Риббенса, Н. Е. Талызина и А. Н. Фрумкина.

Стр. 236. (Серия „Природа и Культура“) Ц. 2 р.

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА—ЛЕНИНГРАД

Инженер В. Д. НИКОЛЬСКИЙ

УСПЕХИ И ПУТИ РАЗВИТИЯ МИРОВОЙ
ТЕХНИКИ

Стр. 329. С 69 иллюстрациями. Ц. 1 р. 30 к.

„Книжка, от которой трудно оторваться. Состоит, просто и понятно даются описание современных достижений в области горного дела, металлургии, машиностроения, производства, строительства и т. д. С огромной пользой будет прочитана каждым рабочим“.
 („Коммунист“, Тула.)

Инженер В. Д. НИКОЛЬСКИЙ

ЭНЕРГИЯ И СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНИКА

Стр. 148. С рисунками. Ц. 88 к.

„Книга стремится дать читателю, знакомому с основами физики и инженерному делу, успешные современные сведения о технике, общий обзор этих успехов за последние время. Автор, рассказывая о первых шагах развития машин-двигателей, главным образом обращает на двигатели, появившиеся за последние десятилетия и уже вносящие глубокое изменение в общий уклад экономической и общественной жизни всех культурных народов“.

ГОЛД, С.

ЗАВОЕВАНИЯ ТЕХНИКИ

Великие сооружения нашего времени.

Перев. с англ. язык. Г. А. Лавин. Под редакцией и с дополнениями язык. С. Д. Савицкого. Ц. 1 р. 40 к.

„Книга представляет собой интересный обзор популяризации вопросов техники. Она станет себе целью ознакомить массового читателя, неподготовленного теоретически, с техникой сооружений. Она не останавливается на мнимых (правильных, неправильных) делах, а фиксирует внимание читателя на наиболее характерных и интересных (для массового читателя) моментах техники сооружений. Автор знакомит читателя с постройкой мостов, туннелей (подводных, горных и т. д.), каналов, дамб, доков, доков-автоскорбков. Особенно уделено в методическом отношении разработкам вопрос о сооружениях мостов... Книжку следует признать одним из наиболее удавшихся опытов популяризации вопросов техники“.

С. Дроздов.
 („Книговед“, 1926, № 34, стр. 38.)

ПОПУЛЯРНО-НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА

НЕЙБУРГЕР, АЛЬБЕРТ

ЧУДЕСА СОВРЕМЕННОЙ ХИМИИ

Стр. 80. Перевод с немецкого П. П. Лебедева. Ц. 45 к.

В наше время успехи науки настолько поразительны, что многие ее достижения могут действительно показаться волшебному чудесному сказкам. Превращение элементов и искусственные солнечные лучи, чудеса радио, совершаемые неизвестно до сих пор свойства как давно известных металлов—алюминия, искусственные драгоценные камни, нефтяные стволы, резины и бораты с пластиком, тайны радио-образов серых цветов, — таковы чудеса химии, удивительно рассказанные книге А. Нейбургера.

Несмотря на их доступность и доступность, материал статей настолько нов и свеж, что даже специалист найдёт в них нечто для себя интересное. Автор специально избегает усложнения каких-либо фактов и сложных понятий, а поэтому книга не только будет интересна для читателей со средним образованием, но и большой своей частью даже и для менее подготовленного читателя.

НЕЙБУРГЕР, АЛЬБЕРТ

ЧУДЕСА СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ

Стр. 180. Перевод с нем. проф. Г. Н. Погова. Ц. 1 р. 40 к.

Содержание. Пространство и времени по Г. Погову. Относительность. Распространение света. Волны де Бройля. Число Планка. Число Больцмана. По ту сторону ультрафиолетовых лучей. Роберт Майер и закон сохранения энергии. Жизнь и перерождение. При 4 000° мороз. Чёрная галактика. Новая теория открытий физики. Новые задачи. Страны проводимости—физико-химико-технологические страны. Таин.

КЛАССЕН, И., проф.

ДВЕНАДЦАТЬ ЛЕКЦИЙ О ПРИРОДЕ СВЕТА

Перевод с нем. проф. А. Б. Мандельштамова. М.—Л. 1926. Изд. 2-е.

Стр. 132. Ц. 75 к.

Законы распространения света, отражение и спектр, интерференция, дифракция, поляризация, законы электромагнитных колебаний, распространение электромагнитных волн и, наконец, высшие электромагнитной природы света,— вот содержание книги. Она предназначена для читателей, уже знакомого со школьным курсом физики, и может служить хорошим пособием для учащихся и для популярно-интерпретации физики.

[Минск², 1923, 76 л.]

Прекрасный обзор светового материала, строго последовательность изложения и целый ряд интересных и оригинальных темных примечаний порадуют даже опытного читателя и любителей.

[Харьков², 1925, 76 л.]

БЮГРАФИЧЕСКАЯ БИБЛИОТЕКА

ЗЕРНОВ, В., проф.

ГЕРМАН ГЕЛЬМГОЛЬЦ

Стр. 103.

Ц. 70 к.

„В. Зернов привнес в книгу свою задачу. Он дал необходимые сведения о личности Гельмгольца и жизни Гельмгольца, о его характере, но главное внимание он уделяет его научным работам. Книга дает много интересных и важных Гельмгольца и его открытия. Особенно важна для читателей, знакомых с физикой и общей теорией школы. Страницы-иллюстрации книги и реферат прочтут ее с интересом“.

Н. Орлов.

(„Книгоман“, 1925 г., № 25.)

МЕНШУТКИН, В. Н.

М. В. ЛОМОНОСОВ

Стр. 104.

Ц. 65 к.

„Биография первого русского ученого и писателя, вышедшего из среды крестьянских крестьян, полна горького и разностороннего интереса. Знакомство с жизнью великого человека, с его научными работами, с борьбой, которую ему пришлось вести, особенно полезно для нашей рабочей-крестьянской молодежи. Автор книги изложил кратко и ясно все, что касается жизни Ломоносова, что касается работы и учения великого самообразования человека с ним справится. Книга должна быть доступной всем и в нашей библиотеке“.

Григорьев.

(„Книгоман“, 1925 г., № 13)

НАЗАРОВ, А. В.

А. Л. ЛАВУАЗЬЕ

Стр. 46.

Ц. 35 к.

„А. В. Назаров рассказывает жизнь и труды Лавуазье в связи с истинными наукой и культурой его времени.“

Выпуск особенно интересен для нашей молодежи Лавуазье и науки. Автор дает такую-то краткую историю химии, которая была Лавуазье.

Рекомендуем эту интересную книгу тем же работам, которые имеют некоторые сведения по химии, а, в частности, реферату“.

(„Книгоман“, 1925 г., № 4.)

ШАРНИН, В. В., проф.

ЮСТУС ЛИБИХ

Стр. 67.

Ц. 60 к.

„Либих с полной правдой может считаться основателем германской химической науки. В его деятельности проявились также научная работа, что и у Ломоносова. Его биография, с подробным изложением Шарнина, полна горького интереса“.

(„Книгоман“, 1925 г., № 2.)