

Проф. А. К. ТИМИРЯЗЕВ

Ф И З И К А

ЛЕКЦИИ, ЧИТАННЫЕ В КОММ. УН-ТЕ
ИМЕНИ Я. М. СВЕРДЛОВА

Ч А С Т Ъ, II - я

РЕКОМЕНДОВАНО ГУС'ОМ

ИЗДАТЕЛЬСТВО КОММУНИСТИЧЕСКОГО УН-ТА
ИМ. Я. М. СВЕРДЛОВА — МОСКВА — 1926

ОТПЕЧАТАНО В РЖЕВСКОЙ ТИПОГРАФИИ
УИК'А В КОЛИЧЕСТВЕ 7.000 ЭКЗЕМПЛЯРОВ
ГЛАВЛИТ—44132.

ПРЕДИСЛОВИЕ.

Предлагаемая вниманию читателей вторая часть курса физики, также как и первая, представляет собой почти стено-графическую запись лекций, читанных автором в период с 1921 по 1925 год в Коммунистическом Университете имени Я. М. Свердлова.

В основу этой второй части положено учение об электромагнитных явлениях, что занимает первую треть книги— первые четыре лекции. Там даются только самые необходимые сведения, без которых нельзя сколько-нибудь серьезно изучать высшие формы техники, неразрывно связанные с электротехникой.

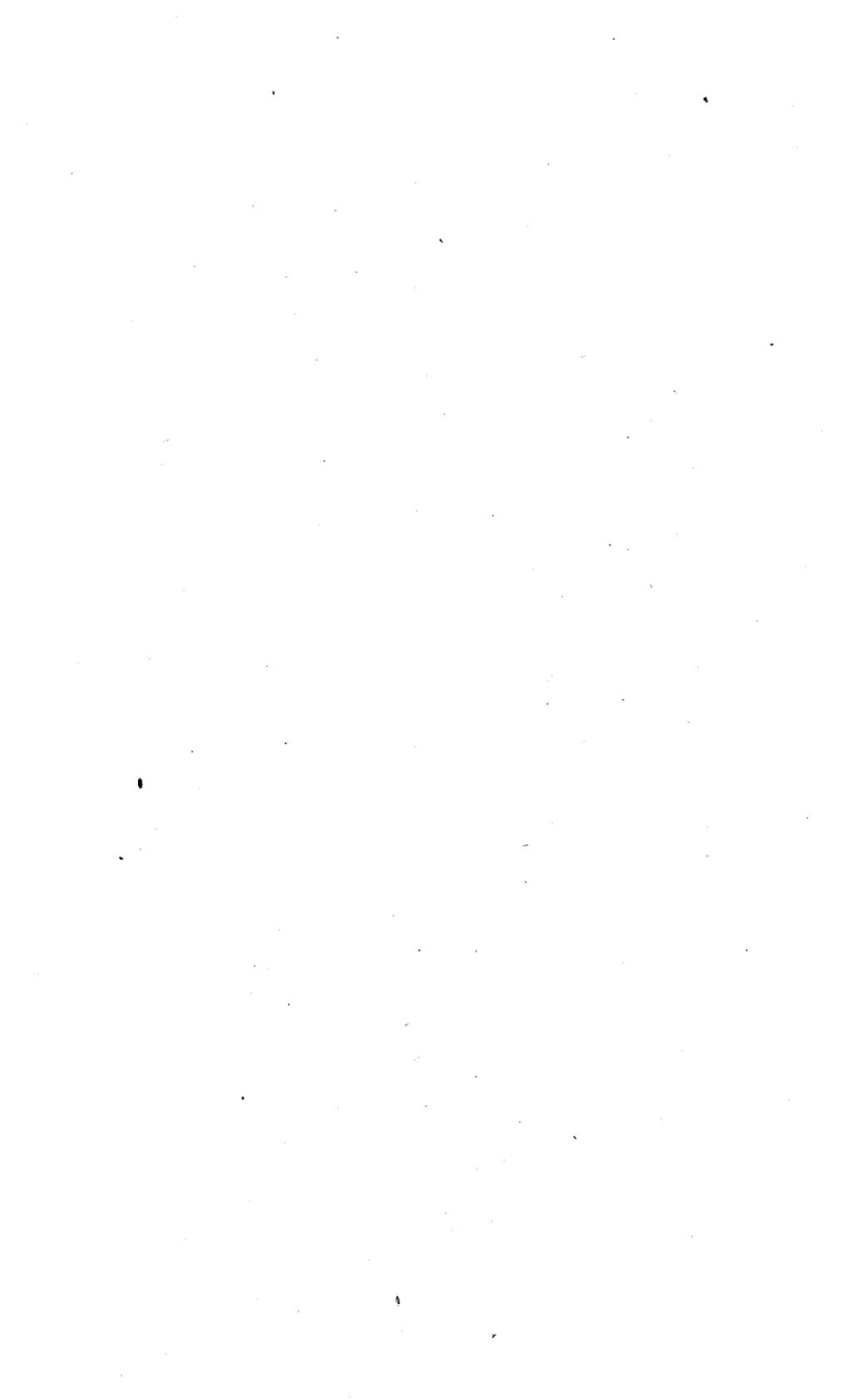
На этой основе одновременно делается попытка изложить в возможно простой и доступной форме теорию электронов. Автор полагает, что при изложении новейших успехов в области теории надо особенно старательно избегать догматизма. Поэтому лучше воздержаться от сообщения тех или иных выводов, может быть и очень эффективных, если их не удается изложить так, чтобы самый способ доказательства— речь идет, конечно, не о деталях—был понятен. Остановимся для выяснения этой стороны дела на конкретном примере. Одним из блестящих доказательств правильности основных предпосылок теории электронов являются знаменитые опыты Тольмана-Стюарта 1916-1922 годов. Опыты заключаются в том, что двигавшийся равномерно не заряженный проводник внезапно тормозится, вследствие чего находящиеся в проводнике электроны, продолжая по инерции двигаться в прежнем направлении, вызывают в этом проводнике электрический ток. По силе этого тока можно определить массу

электронов. Если лектор, давая описание этого опыта, укажет на всем нам хорошо знакомый пример с движением по инерции пассажиров, стоящих в проходе трамвайного вагона в тех случаях, когда вагон был быстро заторможен, то самый способ определения массы электрона по смещению его в проволоке, т.-е. по электрическому току, который наблюдался при торможении, становится ясным. Ведь всякий по своему личному опыту знает, что проявление закона инерции будет более заметно на более массивном пассажире, чем на худощавом! А потому по перемещению можно судить о величине „массы“. Я очень хорошо знаю, что такой прием многим критикам покажется „недостойной вульгаризацией“, но пусть они все-таки докажут, что приведенное сравнение неправильно по существу! Мне кажется, что при быстро растущей потребности широких рабочих и крестьянских масс—потребности знать все, что сейчас делается в науке, основная задача методиста заключается в том, чтобы в понятной и, главное, в правильной форме, не искажая существа дела, излагать все появляющиеся в современной науке теории и взгляды. Доступность изложения вовсе не противоречит научности, и то и другое можно сочетать, но это требует усиленного труда. Мне думается, что если эта существеннейшая часть будет выполняться, то удовлетворить другим быстро меняющимся требованиям абстрактной методики будет уже не трудно. Ведь любой материал можно „скомплексовать“ и „перекомплексовать“ с чем угодно, беда только в том, что вся эта внешняя часть отвлекает методистов от гораздо более глубокой внутренней работы над излагаемым материалом, в особенности там, где идет речь о новейших успехах современной науки. И мы до сих пор часто в наших новых учебниках ограничиваемся материалом Краевичей и Киселевых, от которых нас не могла избавить даже Октябрьская революция!

Вследствие поставленной себе задачи бороться с догматизмом и вследствие необходимости дать студенту-свердловцу в ограниченный учебным планом срок, хотя бы и элементарные сведения, касающиеся новейших задач физики, автору пришлось сократить, а порой и прямо выкинуть многое такое, что составляет неотъемлемое содержание значительной части наших учебников и руководств.

В заключение считаю своим долгом выразить товарищескую признательность Д. Д. Галанину, заботливо выполнившему рисунки настоящей книги и дававшему мне свои советы при чтении корректур, а также и всем моим товарищам, помогавшим и помогающим мне теперь в сложном и трудном деле преподавания физики в Коммунистическом Университете имени Я. М. Свердлова.

А. Тимирязев.



ЛЕКЦИЯ ПЕРВАЯ.

СОДЕРЖАНИЕ.

Простейший источник электрического тока. Указатель и измеритель тока. Единица силы тока—ампер. Единица сопротивления—ом. Напряжение и его измерение. Единица напряжения—вольт. Сравнение электрического тока—с током воды в водопроводе. Закон Ома.

Учение об электричестве или, правильнее, учение об электромагнитных явлениях постепенно завоевывает всю физику. Эта разрастающаяся область современной физики является не только основой электро-техники, т.-е. высшей формы техники, на почве которой у нас в Советской России развертывается социалистическое строительство, но и основой всех новейших теорий строения вещества. Мы в дальнейшем увидим, как из целого ряда независимых друг от друга данных, подкрепляемых громадным количеством опытов, вытекает основной для современного естествознания вывод, что все вещество—вся материя построена из частиц более мелких, чем сами атомы—из частиц, заряженных электричеством. С другой стороны—можно считать прочно установленным фактом, что всякий раз, когда электрический заряд, т.-е. то, что мы называем электричеством, находится в движении, в окружающем пространстве вблизи этого движущегося заряда замечаются явления такого же порядка, как и те, которые мы наблюдаем вблизи искусственных или естественных магнитов. Вот почему магнитные явления тесно связаны, тесно переплетаются с электрическими. В первой части курса физики мы познакомились с доказательствами существования непрерывных движений атомов и молекул. А если это так, то дви-

жущиеся заряженные части атомов должны проявлять магнитные действия. Отсюда напрашивается сам собой вывод: в конечном счете—все, что происходит в мире атомов, все силы, проявляющиеся как в пределах атомов, так и между атомными группами—молекулами должны быть электромагнитного происхождения. Исследования начала XX столетия показали, что и так называемые силы „химического сродства“—электромагнитного происхождения. Таким образом, не надо обладать каким-либо особым даром пророчества для того, чтобы предсказать, что вся современная физика в ближайшие десятилетия будет развиваться именно в этом направлении, т.-е. в постепенном сведении физических явлений, протекающих в окружающем нас мире, к движению электрически заряженных частиц, из которых построены атомы и молекулы. Эта „электрификация“ современных физических теорий и всей современной физики как нельзя более соответствует новым более высоким формам производства, опирающимся на „электрификацию“ техники и являющимся той основой, на которой должно строиться социалистическое хозяйство.

Однако, мы не в состоянии сразу же приступить к изучению этой сложной области науки, т.-е. к изучению электрической или электронной теории строения вещества: нам для этого придется прежде всего подробно ознакомиться с электрическими и магнитными явлениями в их простейшем виде. Изучение этих более простых явлений помимо постепенного введения в круг более сложных задач, касающихся строения вещества, является в то же время основой для понимания современной техники. Но я предвижу, что по примеру прежних лет мне на первых порах придется выдержать основательную осаду в виде огромного числа записок с настойчивыми вопросами об отношении электронной теории к материализму и другими сходными вопросами, на которые можно дать более обстоятельный ответ только тогда, когда мы запасемся некоторым кругом сведений, касающихся простейших электрических и магнитных явлений.

Итак, нам с вами придется запастись некоторым количеством . . . терпения!

Напомню вам вкратце, как устроен простейший источник электрического тока и простейший „показатель тока“, гальваноскоп или измеритель тока—„гальванометр“. В ка-

честве источника тока мы берем сосуд, наполненный разведенным раствором серной кислоты, и погружаем в него цинковую и медную пластинку.

Если плотно, при помощи зажимов, прижать к этим пластинкам, когда они погружены в раствор, концы куска медной проволоки, то проволока приобретает новые свойства: она слегка нагревается—оказывает действие на магнитную стрелку и сама испытывает действие магнита, т. е. может прийти в движение под влиянием соседнего магнита и т. д. Мы кратко обозначаем эти новые явления словами: „По проволоке идет электрический ток“. Чтобы доказать присутствие электрического тока, мы воспользуемся следующей моделью электрического измерительного прибора. Между концами—полюсами—подковообразного магнита на двух тонких медных проволочках подвешена деревянная рамка А (см. рис. 1) с прикрепленной к ней бумажной гильзой В.

Рамка обмотана проволокой—т. н. „изолированной“ проволокой, т. е. проволокой, обмотанной шелком или хлопчато-бумажными нитками, пропитанными парафином — веществом, не пропускающим электрического тока—

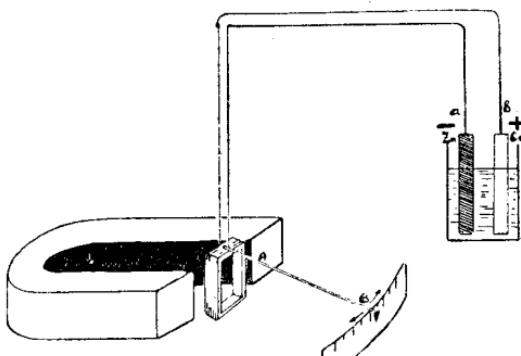


Рис. 1.

„изолирующего“ этот ток, не дающего переходить ему с одного витка на другой непосредственно в местах соприкосновения. Концы проволоки, на которых висят рамка и обмотка, сделаны из одного сплошного конца проволоки. К концам *a* и *b* (см. рис. 1) прижаты зажимами цинковая и медная пластинки нашего источника тока или „гальванического элемента“. Как только „цепь“ будет замкнута, т. е. все провода, идущие от цинковой пластинки к медной, будут плотно между собой связаны при помощи зажимов или „клемм“, так сейчас же мы заметим поворот рамки, это особенно заметно, благодаря бумажной гильзе, которая служит „стрелкой“ нашего измерительного прибора. Если мы, наоборот, конец *a* присоединим к медной

пластиинке, а в к цинковой, то „стрелка“ повернется в другую сторону. Мы говорим, что „электрический ток“ пошел теперь по проволоке измерительного прибора в противоположном направлении. За направление тока мы совершенно условно принимаем направление от меди по проволокам к цинку. Если воспользоваться источником тока более значительных размеров, то получается и поворот „стрелки“ измерительного прибора более значительный; мы можем, следовательно, говорить о величине или „силе“ тока. Если ток остается неизменным по силе, то и рамка со „стрелкой“, повернувшись, остается все в том же положении. Это происходит потому, что ток неизменной силы производит неизменное по величине закручивание проволоки. Это закручивание продолжается до тех пор, пока упругая сила, стремящаяся раскрутить проволоку и возрастающая по мере закручивания, не сравняется по величине с той силой, которая вызвала закручивание, т. е. с силой, вызванной электрическим током. Итак, мы познакомились с простейшим источником тока или „гальваническим“ элементом и с простейшим измерительным прибором или „гальванометром“.

Наиболее существенной частью гальванического элемента являются две, погруженные в какой-либо раствор кислоты, соли или щелочи, пластины из различных веществ. Пластины должны быть сделаны непременно из различных веществ, например, цинк и медь, цинк и уголь, губчатый свинец и перекись свинца, как это имеет место в т. н. „аккумуляторах“. При чем, по мере действия элемента, по мере выработки им электрического тока, одна из пластин растворяется или изменяется химически, как, напр., в аккумуляторе свинцовая пластинка окисляется, а пластинка из прессованной перекиси свинца превращается в окись свинца. Аккумулятор отличается той особенностью, что пластинки его, „разрядившиеся“ при его работе, можно вновь „зарядить“, воспользовавшись каким-либо источником тока, т. е. получить пластинки его опять в прежнем виде,—в виде губчатого свинца и перекиси свинца. Если мы разрежем провод, соединяющий „полюсы“ гальванического элемента, т. е. две его погруженные в жидкость пластиинки, присоединим их к медным пластинкам и погрузим в раствор медного купороса (см. рис. 2), то электрический ток будет проходить

сквозь раствор, при этом из раствора будет осаждаться медь на той из пластин, которая соединена с т. н. „отрицательным“ полюсом нашего гальванического элемента, т. е. с цинковой пластинкой.

Другая же медная пластина, соединенная с „положительным“ полюсом элемента, начнет растворяться. Опыт показывает, что если сила тока не меняется (а об этом мы можем судить по тому, что измерительный прибор, построенный по типу

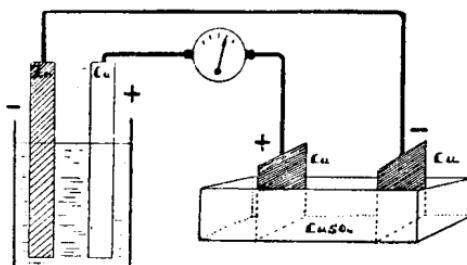


Рис. 2.

только что рассмотренной модели и включенный в цепь с ванной, наполненной медным купоросом, дает постоянное отклонение стрелки), то количество выделенной в единицу времени меди остается также постоянным; таким образом, мы получаем возможность установить единицу для измерения силы тока.

Международным соглашением установлено принимать за единицу тока — один ампер или ток, который в одну секунду выделяет 0,329 миллиграмма меди из раствора медного купороса или 1,118 миллиграммма серебра из раствора азотно-кислого серебра (для точных измерений всегда производят опыты с серебром). Мы сейчас произведем опыт с медным купоросом и проверим, что значат те деления, которые нанесены на измерительном приборе, построенном по типу знакомой уж нам модели (см. рис. 3).

Различие этого прибора с нашей моделью заключается в том, что вращающаяся рамка, обмотанная проволокой, поворачивается вокруг горизонтальной оси, она не висит на проволоках, а удерживается в определенном положении двумя пружинками, которые при повороте закручиваются и стремятся привести рамку в ее прежнее положение. С вра-

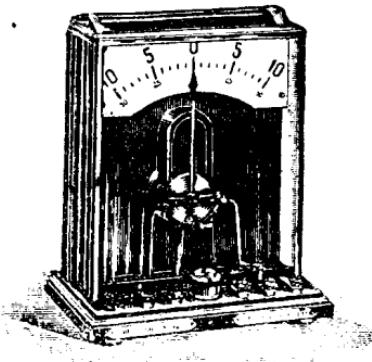


Рис. 3.

щающейся рамкой соединена стрелка, которая движется вдоль скалы с делениями.

Мы пропускаем ток от нескольких аккумуляторов через ряд катушек, обмотанных проволокой, через ванну с медным купоросом и через наш измерительный прибор. Предварительно обе медные пластинки, которые мы погрузили в раствор медного купороса, были уравновешены на весах. Левая пластинка висела на левой чашке, правая—на правой. Для уравновешивания одна из них была слегка подпилена. Мы замыкаем ток и замечаем по часам время.⁶ Вы видите—стрелка измерительного прибора стоит на втором делении. Посмотрим, на сколько должен измениться вес пластинок через пять минут, если каждое деление нашего измерительного прибора соответствует одному амперу. Пока идет опыт, займемся расчетом. Если каждое деление действительно соответствует одному амперу, то при двух амперах в секунду должно выделяться по $0,329 \times 2 = 0,658$ миллиграмма меди и столько же раствориться с другой пластинки, итого—1,316 миллиграмма. Но ведь опыт мы продолжаем не одну секунду, а пять минут, т. е. 300 секунд. Итак, разница в весе между пластинками должна быть $1,316 \times 300 = 394,8$ миллиграмма или 0,395 грамма, т. е. приблизительно 0,4 гр.—четыре десятых грамма. Смотрим на часы: в момент, когда исполняется пять минут с начала опыта, я прекращаю ток, сполоскиваю осторожно чистой—перегнанной водой обе пластины, обсушиваю их пропускной бумагой и помещаю на весы в прежнее положение. Вы видите, равновесие нарушилось. Чтобы восстановить его, я накладываю 4 десятых грамма на ту чашку, которая поднялась, и вы видите—равновесие восстановилось. Итак, деления на нашем приборе действительно соответствуют одному амперу, и прибор наш мы можем назвать „амперметром“—измерителем амперов. Положение стрелки позволяет нам непосредственно отсчитывать ток в международных единицах—амперах. От каких условий зависит сила тока? Возьмем длинную тонкую проволоку АВ, включаем ее в цепь, содержащую один аккумулятор (см. рис. 4), и измерительный прибор, только более чувствительный: у него каждое деление соответствует очень малой доле ампера. Проволока подогнана у нас так, что прибор показывает 5 делений. Я в ту же цепь включаю еще такую же длинную и

тонкую проволоку А¹ В¹, т. е. как будто я взял проволоку вдвое более длинную. Вы видите, что при том же источнике тока, при том же аккумуляторе мы получаем вдвое меньшее число делений, т. е. только 2,5 деления. Мы говорим, сила тока убавилась вдвое, потому что „сопротивление“ проводов возросло вдвое ¹⁾.

Как измерять сопротивление? Для этого существует также мера, установленная международным соглашением. За единицу сопротивления или один „ом“ принимается сопротивление столбика ртути при 0°

градусов Цельзия с сечением в один квадратный миллиметр и в 106,3 сантиметра длины. Чтобы выяснить, как можно измерять с помощью этой единицы, мы рассмотрим теоретически наиболее простой способ, хотя и не наиболее удобительный.

Составим цепь из аккумулятора, измерительного прибора со скалой (хотя бы и не разделенной на амперы), соединительных проводов и трубочки с ртутью в 106,3 сантиметра длиной и с сечением в один квадратный миллиметр. Пусть эта трубка охлаждается тающим льдом. Отметим число делений, показываемых стрелкой измерительного прибора. Теперь заменим трубку с ртутью какой-либо проволокой и будем подбирать ее длину так, чтобы наш измеритель показал то же число делений, что и с цепью, в которой участвовала трубка с ртутью. Так как все осталось по старому, за исключением замены трубки с ртутью „образцового ома“

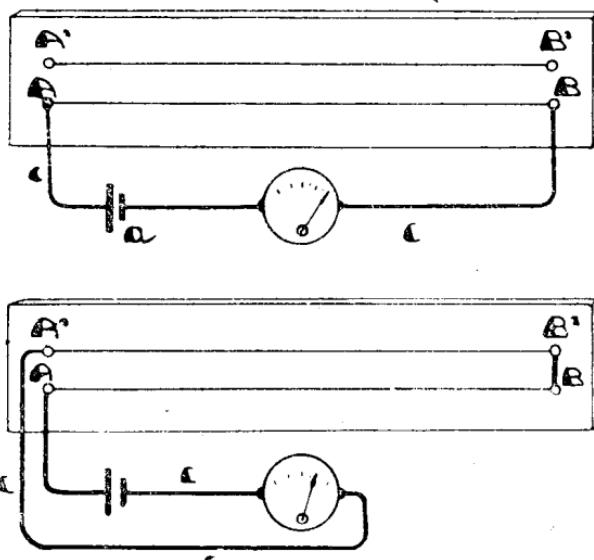


Рис. 4.

¹⁾ Соединительные провода с, с, с (рис. 4) берутся очень толстые с таким малым сопротивлением, что им можно пренебречь.

или „эталона“¹⁾—ома проволокой, то ясно, что проволока должна иметь то же самое сопротивление, что и самий эталон. Такой способ измерения сопротивления называется способом „подстановки“. Во всяком случае, теперь нам должно быть ясно, как можно наготовить отрезки проволок, сопротивления которых будут один, два, три и т. д. омов. Опыт показывает, что если сечение однородной проволоки неизменно, то сопротивление прямо пропорционально длине.

Так что, если мы отмерим кусок проволоки в один ом, то кусок в два ома будет вдвое длиннее, если только попечное сечение проволоки везде одно и то же, и вещества, из которого сделана проволока, одно и то же. Если взять проволоку из того же самого вещества и той же длины, но с вдвое большим сечением, то сопротивление этого куска будет вдвое меньше. Если мы будем знать так называемое удельное сопротивление различных веществ, из которых изготавливают проволоки, то мы сможем рассчитать сопротивление для любой проводки. Так, опытами установлено, что проволока из красной меди в один метр длины и один квадратный миллиметр в сечении имеет сопротивление от 0,017 до 0,018 омов в зависимости от чистоты меди. Для железа при тех же условиях имеем 0,1—0,12; для платины—0,12—0,16; для алюминия—0,03—0,05. Эти цифры дают возможность заранее рассчитать, какую надо взять проволоку, чтобы получить желаемое число омов, или узнать, сколько будет омов в проволоке данной длины²⁾. Теперь предположим, что мы измерили в омах сопротивление всех проволок, входящих в состав цепи самого измерительного прибора: вращающейся рамки, т.-е. намотанной на нее изолированной проволоки, и, наконец, подводящих ток к катушке проводов, идущих от зажимов прибора, к которым привинчиваются проволоки, подводящие ток от источников тока к измерителю. Под сопротивлением измерителя мы будем разуметь, следовательно, общее сопротивление проводов от одного зажима до другого. Пусть, кроме того, наш прибор был „проградуирован“

¹⁾ Эталоном называется вообще образец, с которым производится сравнение.

²⁾ Так, если длина проволоки из красной меди—100 метров и сечение равно 2,5 квадратным миллиметрам, то ее сопротивление будет равно:

$$0,018 \cdot \frac{100}{2,5} = 0,72 \text{ ома.}$$

на амперы, т.-е была определена цена каждого деления в амперах изложенным выше способом. Теперь мы будем к зажимам подводить провода сначала от одного элемента, потом от двух соединенных так, что положительный полюс первого (медная пластинка в простейшем элементе, с описания которого мы начали сегодняшнюю беседу) соединен с отрицательным полюсом второго (в данном случае цинковая пластинка). Остающиеся полюсы—отрицательный первого элемента и положительный второго—соединены непосредственно с зажимами измерителя. Мы видим, что у нас получаются различные отклонения стрелки измерителя.

Во втором случае, когда ток получается от двух элементов, соединенных последовательно: положительный полюс первого с отрицательным второго или отрицательный первого с положительным второго, ток будет более сильным. Таким образом, два элемента в том же измерителе, состоящем из проволок того же сопротивления, в состоянии вызвать более сильный ток. Три элемента вызовут еще более сильный ток. Точно также, если мы медно-цинковые элементы, называемые часто по имени итальянского физика—*Вольта*—элементами Вольты, заменим свинцовыми аккумуляторами, то действие каждого аккумулятора будет сильнее: при этом сопротивление всех проводов, входящих в состав измерителя, должно оставаться неизменным. Отсюда мы приходим к выводу: в данном проводе можно получать ток различной силы в зависимости от того, какой у нас источник тока. Мы сейчас увидим, что в рассматриваемых нами сейчас явлениях очень много сходного с явлением течения воды по трубам. Если мы накачиваем насосом воду в трубу, то вода выливается с другого конца: если мы поставим более сильный насос, то через ту же трубу мы в состоянии будем в тот же промежуток времени прокачать большее количество воды. Для этого „напор“ воды, даваемой насосом, должен быть больше. Мы можем сказать, что различные гальванические элементы дают „электрический напор“ разной силы. Если гальванические элементы или аккумуляторы соединены последовательно и притом так, что они стремятся вызвать ток во внешней цепи в одном и том же направлении, то совместный „напор“ их будет больше, чем напор каждого в отдельности. Подобно тому, как два насоса, поставленные

один за другим, могут поднять воду на более значительную высоту. Так, для примера пусть каждый насос накачивает воду на высоту пяти метров. Накачивая воду из пруда в водоем, уровень воды в котором на 5 метров выше уровня воды в пруде, одним насосом, мы можем воспользоваться вторым насосом, чтобы поднять воду в другой водоем, стоящий еще на 5 метров выше над уровнем земли или пруда; спускающаяся вода будет обладать также большим напором, чем вода, спускающаяся из первого водоема. Отсюда, в нашем примере два последовательно действующих насоса дадут вдвое больший напор. На техническом языке способность источника тока давать более или менее сильный электрический ток, называется „электродвижущей“ или „электро-воздушительной“ силой.

Если между полюсами источника тока—элемента или аккумулятором и зажимами нашего измерителя мы вставим еще добавочные провода с некоторым сопротивлением, то измеритель покажет нам менее сильный ток. *Мы скажем, что добавочные сопротивления уменьшили „напряжение“, даваемое нашим источником на зажимы измерителя.* Как измерить величину напряжения? Пусть для простоты расчета наш измеритель, деления которого выражены в амперах, имеет сопротивление в один ом, т.-е. пусть общее сопротивление проводов от одного зажима до другого внутри самого прибора равно одному ому.

Тогда мы условно будем принимать, что напряжение на этих зажимах равно единице, если наш прибор покажет нам при испытании один ампер. Эту единицу напряжения назвали в честь знаменитого итальянского физика А. Вольта— „вольтом“. Итак, один вольт—это такое напряжение, которое в проводе, сопротивление которого равно одному ому, вызывает ток в один ампер. Если ток получился в два ампера, то это значит, что и напряжение вдвое больше. Если сопротивление составляет не один ом, а два, а ток получится тот же, т.-е. в один ампер, то это значит, что напряжение равно двум вольтам.

Если мы в проволоке, сопротивление которой равно десяти омам, получаем ток в 1 ампер, то это значит, что напряжение, вызвавшее этот ток, составляет 10 вольт. Это дает нам возможность тем же прибором, которым мы измеряли

амперы, измерять и вольты. В самом деле: пусть сопротивление амперметра равно 15 омам и амперметр при испытании дал 3 ампера. Что это значит? К зажимам амперметра подведены провода от источника тока; благодаря этому на зажимах получается напряжение, дающее в проводе в 15 ом 3 ампера. Если бы в одном оме получился один ампер, мы сказали бы, что напряжение равно одному вольту, но у нас получился ток в три ампера; при одном оме сопротивления—напряжение это соответствовало бы трем вольтам, но ведь сопротивление у нас не один ом, а 15, следовательно, напряжение должно быть еще в 15 раз больше, т.-е. 45 вольт. Отсюда вывод: на том делении, где стоит цифра 3 ампера, можем поставить цифру 45 вольт, где стоит цифра 2—30 вольт и т. д. Это дает нам возможность при помощи нашего прибора измерять не только амперы, но и вольты. На практике, однако, не имеет смысла объединять два прибора в одном. Амперметры имеют обыкновенно очень малое сопротивление для того, чтобы, когда его включают в цепь, не увеличивать сопротивления цепи. Если, например, цепь содержит 100 ом, и мы хотим измерить в ней силу тока,—мы разрезаем цепь и вставляем амперметр с сопротивлением для примера, скажем, в 0,2 ома; от этого сопротивление вместо 100 омов стало 100,2, т.-е. оно изменилось на 2 тысячных или на две десятых доли процента. Отсюда ясно, что мы внесли ничтожное изменение в самых условиях опыта. Самый процесс измерения не изменил существенным образом то явление, которое мы измеряем. Для измерения напряжений обыкновенно берут чувствительный прибор и присоединяют к нему большое добавочное сопротивление. Так, например, пусть каждое деление прибора соответствует 0,001 ампера, а общее сопротивление от зажима до зажима, т.-е. сопротивление соединительных проводов, вращающейся рамки и добавочного сопротивления пусть равно тысяче омов. Если при действии напряжения мы отмечаем одно деление шкалы, т.-е. через прибор, имеющий сопротивление в 1000 омов идет ток в 0,001 ампера, то это значит, что напряжение равно одному вольту, и мы против первого деления ставим цифру один.

Если напряжение равно 100 вольтам, то у нас должен получиться ток в 100 раз больший, т.-е. 0,1 ампера. Если мы

„пробуем“, какое у нас напряжение, прикладывая провода от вольтметра А и В (рис. 5) к различным частям цепи, не разрывая ее: мы при каждой пробе берем очень небольшой

ток (зажимы могут быть на концах гибких проводов). Ток в данном примере при 100 вольтах 0,1 ампера. Поэтому и здесь мы не вносим в самом процессе измерения существенных изменений в исследуемом явлении. При малом сопротивлении вольтметра, при-

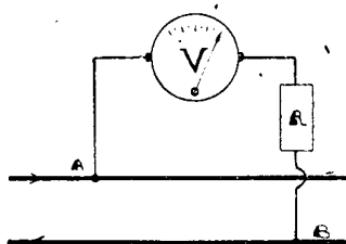


Рис. 5.

бор поглощал бы много тока.

Но тот прибор, о котором мы говорили, и который одновременно позволяет мерить и вольты и амперы, хоть он и не употребляется на практике, нам был нужен, чтобы понять, как производится измерение напряжения. Вы видите, что для того, чтобы построить измеритель напряжения, надо уметь измерять силу тока в амперах и сопротивление в омах. Если добавочные сопротивления совсем выкинуть, то во всей цепи остается сопротивление измерителя и сопротивление самого элемента пластинок, раствора и соединительных проводов. Не будем останавливаться на технике измерения сопротивления элементов. Заметим только, что для аккумулятора это сопротивление очень мало; оно измывается сотыми долями ома, и, вообще, при изготовлении элементов всегда обращают внимание на то, чтобы получить как можно меньшее сопротивление в самом элементе. Итак, положим, что аккумулятор имеет сопротивление в 0,02 ома, а сопротивление амперметра—один ом; общее сопротивление цепи будет 1,02 ома. Пусть амперметр показывает 2 ампера. Если в проводе, а в данном случае это вся цепь целиком 1,02 ома, получается ток в два ампера, то согласно прежним нашим расчетам мы получаем $2 \times 1,02 = 2,04$ вольта. Итак, общее напряжение, действующее во всей замкнутой цепи, будет 2,04 вольта. Если мы при подсчете берем все сопротивление не только гальванометра, но и всей замкнутой цепи, считая и сопротивление самого источника, и умножаем на число ампер, показываемых амперметром, входящим в состав этой цепи—мы получаем всю электродвижущую силу источника, выражющуюся в вольтах. Если же мы, как ранее,

берем сопротивление самого амперметра и умножаем на величину тока, которую он показывает, мы получаем ту часть электродвижущей силы или то напряжение, которое приходится на долю „части“ всей замкнутой цепи—той части, которую составляют провода, входящие в состав измерительного инструмента—амперметра.

Теперь мы можем сформулировать закон Ома, который является обобщением всех рассмотренных нами опытов и всего того, о чем у нас сегодня шла речь. „Сила тока J , измеряемая амперами, выражается отношением напряжения, выраженного в вольтах E , к сопротивлению, выраженному в омах R (на концах которого измерено напряжение E), т. е.

$$J = \frac{E}{R} \dots \dots (1).$$

Пусть сопротивление амперметра равно 0,2 ома, а напряжение на зажимах его равно 20 вольтам; сила тока, которую покажет амперметр, будет $J = \frac{20}{0,2} = 100$ ампер. Формулу (1) можно переписать иначе, именно:

$$JR = E \dots \dots (2),$$

для этого мы обе части равенства (1) помножили на R .

Если мы возьмем сопротивление не одного какого-либо участка цепи, а всей цепи $r_1 + r_2$, где, скажем, r_1 обозначает сопротивление гальванометра соединительных проводов и r_2 —сопротивление гальванического элемента, служащего источником тока, то произведение $J(r_1 + r_2)$ дает нам полное напряжение во всей цепи или всю „электродвижущую“ силу источника: $E = J(r_1 + r_2)$, что можно иначе написать

$$J = \frac{E}{r_1 + r_2} \dots \dots (3)$$

Эти формулы выражают закон Ома: (1) в применении к части цепи, (3) ко всей цепи.

Проверим еще раз закон Ома на опыте. Мы берем кусок проволоки, настолько тонкой и настолько длинной, что его сопротивление r_2 значительно больше сопротивления нашего измерительного прибора r_1 (я беру достаточно чувствительный прибор) и тем паче больше сопротивления аккумулятора r_3 .

Поэтому мы без большой ошибки можем считать, что вся цепь состоит из сопротивления r_2 проволоки: r_1 и r_3 очень

малы по сравнению с r_2 . Замыкаем цепь,—отклонение стрелки оказывается 5 делений: в качестве источника у нас был один аккумулятор. Я беру теперь два аккумулятора, соединенные последовательно, не меняя ничего в расположении приборов. Электродвижущая сила возросла вдвое, из E она стала $2E$, а так как сопротивление осталось то же самое, то сила тока должна возрасти в два раза, из $J = \frac{E}{r_2}$ должна превратиться

в $2J = \frac{2E}{r_2}$. Мы видим, что стрелка теперь действительно показывает 10 делений. Оставим теперь два аккумулятора, но увеличим вдвое сопротивление, включив в цепь еще одну проволоку такого же сопротивления— общее сопротивление теперь будет $2r_2$.

Электродвижущая сила по прежнему $2E$, откуда получаем $J = \frac{2E}{2r_2}$, т. е. прежнюю величину J . Замыкаем ток, и Вы видите—стрелка опять показывает 5 делений.

Мы уже указали на связь между явлением электрического тока и течением воды по трубе. Рассмотрим теперь условия, при которых вода течет по трубе. Мы имеем здесь на столе модель водопровода, составленного из стеклянных трубок (см. рис. 6), соединенных короткими резиновыми трубками. На равных расстояниях друг от друга вставлены вертикальные трубы B_1 , B_2 , B_3 и B_4 . Вы видите, что пока вода в нашем „водопроводе“ не течет, уровень воды во всех трубках стоит на одной и той же высоте, как это и должно быть по закону сообщающихся сосудов. Но вот я открываю кран городского водопровода, соединенный с нашим „водопроводом“ резиновой трубкой D , и одновременно открываю кран E , выпускающий воду в раковину. В нашем „водопроводе“ началось движение воды, и Вы видите, что уровни в трубках B_1 , B_2 , B_3 и B_4 расположились на одной линии hh^1 . Чем выше вода в какой-либо трубке B , тем больше давление в соответствующей ей части (лежащей под ней) водопровода. Давление всего больше в B_1 , вблизи крана C , откуда подается вода; оно меньше всего в B_4 , где вода выливается в раковину. Это понижение давления по длине водопровода в сторону течения воды называется „падением напора“. Это падение напора и является причиной, почему

вода движется. Если бы в B_1 и B_4 давление было одинаковое, то вода не переливалась бы. Оказывается, чем трубка уже, тем больше должно быть падение напора для того, чтобы пропустить через нее то же самое количество воды, которое проходит через широкую трубку при меньшем напоре.

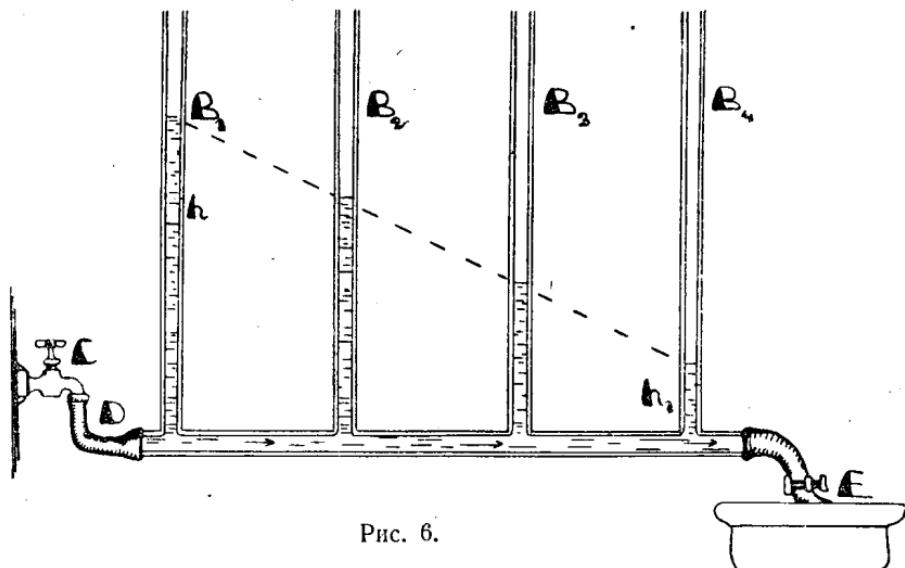


Рис. 6.

Количество протекающей в секунду воды играет здесь роль электрического тока. Это количество возрастает по мере увеличения падения напора—падение напора играет, следовательно, ту же роль, что и напряжение в цепи электрического тока.

Более узкая трубка при том же падении напора пропустит меньше воды в тот же промежуток времени. Поэтому мы можем говорить о „сопротивлении“ трубок водопровода. Как далеко идет это сходство? Можно ли говорить, что по проволоке, по которой идет электрический ток, действительно что-то движется? Ответ на этот вопрос нам придется до поры до времени отложить: нам для этого надо познакомиться еще с целым рядом фактов, на основании которых мы и дадим ответ.

ЛЕКЦИЯ ВТОРАЯ.

СОДЕРЖАНИЕ.

Работа, производимая напором воды в водопроводе. Работа силы тока. Превращение энергии тока в тепло. Закон Джоуля. Измерения энергии и мощности тока. Килоуатт. Практические применения превращения энергии тока в тепло.

Сегодня наша задача будет состоять в том, чтобы определить, какое количество работы может доставить нам электрический ток определенной силы и при определенном напряжении. Для этого мы воспользуемся сравнением электрического тока с текущей по трубе водой—сравнением, с которым мы уже познакомились прошлый раз. Мы видели, что сила водяного тока так же, как и электрического, определяется, с одной стороны, напором или „напряжением“ и, с другой стороны, сопротивлением в одном случае трубы, по которой течет вода, в другом—проводов, составляющих цепь.

Посмотрим теперь, какую работу падение напора производит при движении воды. Рассмотрим часть текущей воды между сечениями s_2 и s_1 (см. рис. 7); на сечение s_1 производится давление p_1 , со стороны жидкости, находящейся слева от сечения s_1 ; на s_2 —давление со стороны жидкости, находящейся справа от s_2 , равно p_2 . Давления p_1 и p_2 равны атмосферному давлению плюс давление, определяемое весом столбов воды h_1 и h_2 .

Мы рассматриваем сейчас условие движения той части воды в нашем водопроводе, которая находится между сечениями s_1 и s_2 . Так как вода все время течет от s_1 к s_2 , и

давления p_1 и p_2 поддерживаются постоянными, благодаря непрерывному притоку воды к s_1 и оттоку от s_2 , то часть воды, заключенная между слоями s_1 и s_2 , через секунду переместится в положение s'_1 и s'_2 , при чем, если сечение

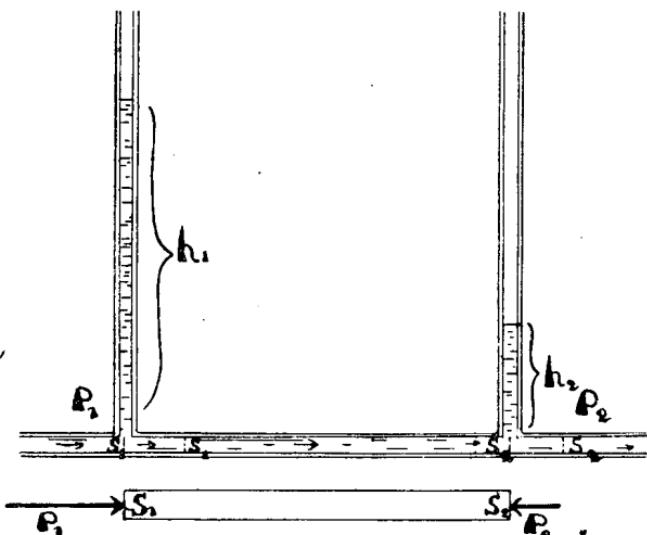


Рис. 7.

трубки везде одно и то же, то $s_1s'_1$ и $s_2s'_2$ будут одинаковы и численно равны u , где u скорость движения воды. Это равенство будет иметь место потому, что жидкость—в данном случае воду—мы предполагаем несжимаемой. Следовательно, какой об'ем в течение секунды влиивается в трубку около s_1 , такой же об'ем должен выделяться из s_2 . Таким образом, об'ем или, что то же самое, количество жидкости (при условии несжимаемости равные об'емы содержат равные массы), протекающей через любое сечение трубки в единицу времени, будет одинаково.

Это условие будет верно и для трубок с переменным сечением. Об'ем несжимаемой жидкости, протекающей в единицу времени, будет тот же, независимо от того, изменяется ли сечение или нет, от площади сечения будет зависеть только скорость течения: в узкой части трубки она будет больше, чем в широкой.

Это условие имеет место и для электрического тока: сила тока, определяемая амперметром, будет всегда одна и та же, в какое место замкнутой цепи мы ни включили бы

амперметр. Подсчитаем теперь величину работы, производимой падением напора. Сила, приложенная на все сечение s_1 , измеряется произведением давления p_1 (давление есть сила, отнесенная к квадратному сантиметру) на площадь s_1 . Чтобы найти работу, надо эту силу $p_1 s_1$ помножить на перемещение u ; мы рассчитываем работу для единицы времени, т. е. то, что в технике называется мощностью (см. лекцию II, часть I).

Точно также для сечения s_2 найдем — $p_2 s_2$ и и знак — потому что в данном случае направление перемещения и направление силы прямо противоположны (см. рис. 7).

Итак, вся работа A , производимая над водой в слое $s_1 s_2$ падением напора $p_1 — p_2$, выразится:

$$A = p_1 s_1 u - p_2 s_2 u = (p_1 - p_2) s_1 u \dots \dots (4)$$

так как $s_1 = s_2$ или обозначая $s_1 u = s_2 u = v$, где v об'ем протекшей в одну секунду жидкости, имеем

$$A = (p_1 - p_2)v \dots \dots (I).$$

Итак, работа, произведенная падением напора в секунду, или мощность измеряется произведением падения напора или „напряжения“ на объем протекшей в секунду жидкости или на „силу тока“. Таким же образом и мощность или работа, производимая электрическим током силы J в части провода, на которую действует напряжение V в течение одной секунды, равняется произведению JV . Конечно, такой вывод, основанный на сходстве потока воды в трубе с электрическим током, не является строгим доказательством, но, с другой стороны, это наиболее простой и наглядный способ об'яснить, почему мощность измеряется произведением числа вольт на число амперов: а ведь у нас с вами должно быть на первом плане не строгость доказательства, а ясное и по возможности более наглядное представление об изучаемых нами явлениях, тем более, что все изложенные нами соображения проверены многочисленными опытами. Возвращаясь к трубке с текущей водой, поставим себе вопрос: во что же превращается работа, выраженная формулой (I)?

Так как скорость течения и одинакова на всем протяжении нашего водопровода, то ясно, что эта работа не могла пойти на увеличение кинетической энергии, энергии движения воды, и в той и в другой части трубы, т. е. и в s_1 , и в s_2 движутся те же массы и с теми же скоростями: никакого изменения кинетической энергии не произошло;

кинетическая энергия или энергия движения зависит от массы и от скорости. Следовательно, энергия, производившая эту работу, должна была перейти в какую-то другую форму, и не трудно сообразить, что работа эта в данном случае превратилась в тепло. Представим себе, что вместо воды в трубке был густой сироп или вообще какая-либо вязкая жидкость, тогда для продавливания такого же количества сиропа в то же время и через ту же трубку пришлось бы установить более сильное падение напора: разность $p_1 - p_2$ должна была быть значительно больше. Что при движении вязкой жидкости надо преодолевать силу трения, это ясно каждому. Хотя в значительно меньшей степени, это же явление наблюдается и в жидкостях с малой вязкостью, как, например, в воде. Различие здесь количественное, но не качественное, но именно потому, что вся эта работа (I) очень невелика, а следовательно, и количество выделенного тепла невелико, очень трудно доказать нагревание трубки; к тому же значительная часть тепла уносится водой. Такое же явление происходит и в проволоке, по которой протекает электрический ток. Нагревание проволоки можно очень легко показать. На рис. 8 изображен закрытый со всех сторон сосуд А, соединенный с манометром М. Внутри сосуда вставлена тонкая проволока Q, по которой можно пропустить ток. Я присоединяю концы этой проволоки к полюсам элемента Вольты, и Вы видите, как поднялся вверх уровень подкрашенной воды в манометре М.

Произошло это потому, что воздух в сосуде А нагрелся от проволоки Q и своим расширением начал вытеснять воду из трубки манометра. Я присоединяю теперь вместо элемента Вольты аккумулятор, и Вы видите, что нагревание стало еще сильнее. Это показывает, что напряжение, даваемое аккумулятором, больше, чем напряжение элемента Вольты¹⁾.

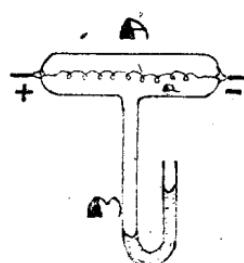


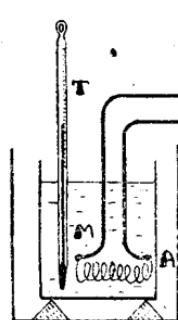
Рис. 8.

¹⁾ Здесь могло бы играть роль и малое внутреннее сопротивление аккумулятора, но так как сопротивление проволоки значительно больше внутреннего сопротивления элемента Вольты, то внутреннее сопротивление в данном случае вообще никакой роли не играет. Оно мало по сравнению с сопротивлением проволоки.

Чтобы показать, насколько большое нагревание можно получить с помощью электрического тока, я пущу сейчас при помощи электрического мотора, питаемого городским током, динамо-машину, с устройством которой мы впоследствии познакомимся, как на лекциях, так и на практических занятиях. Эта динамо-машина может давать ток до 150 ампер. Я присоединяю толстые медные провода, идущие от этой машины к железной проволоке, диаметром в 1 миллиметр, ипускаю ток. Вы видите, что проволока быстро накаляется и в наиболее тонкой части расплывается; на оставшихся концах проволоки Вы видите сплавившиеся шарики железа. Когда проволока остывает, я передам ее вам на руки. Вы сами знаете, что для того, чтобы расплавить железо, требуется не малый жар—от 1500 до 1600 градусов. Отсюда ясно, насколько

большие удобства представляет собой электрический ток, мы могли без всякой печи в очень ограниченном пространстве, занятом проволокой, в одну минуту получить такой большой жар. Но спрашивается, как рассчитать количество тепла, выделившееся за известный промежуток времени в проволоке, по которой идет ток силы J ампер при напряжении в V вольт? Для этого надо произвести опыт, впервые осуществленный английским физиком Джайлзом,

Рис. 9.



который вы сами выполните в лаборатории, и схему которого я Вам покажу сейчас. В калориметр А (рис. 9) (см. I часть, лекция II и IX), снабженный термометром Т, наливается известное количество M воды и погружается свернутая в спираль проволока. Пусть сила тока J ампер, напряжение V вольт и пусть ток идет в течение t секунд. Тогда работа тока в единицу времени будет $J.V.$, а за время t секунд будет $J \cdot V \cdot t$. Скольким это будет соответствовать калориям, мы узнаем, измерив повышение температуры $T - T_0$ и зная массу M воды, нагревшейся на $T - T_0$ градусов.

Эти опыты показывают, что для того, чтобы определить число калорий Q , надо произведение $J \cdot V \cdot t$ умножить на число 0,24, т. е. около $\frac{1}{4}$. Итак, можно написать:

Q (число малых калорий, выделенных током) = 0,24 $J \cdot V \cdot t \dots$ (II) (если J измерено в амперах, V в вольтах и t в секундах).

Мощность, т. е. число калорий, выделяемых током в секунду, выражается: $Q_0=0,24 \text{ J. V} \dots \text{(III).}$

Зная, что по закону Ома $J=\frac{V}{R}$, где R сопротивление проволоки, в которой происходит выделение тепла, мы можем преобразовать выражения (II) и (III) и получить вместо них:

$$Q=0,24 J^2 R t \dots \text{(II')}.$$

$$\text{и } Q = 0,24 J^2 R \dots \text{(III').}$$

Этими формулами, выражающими т. н. закон Джаяуля, очень удобно пользоваться для расчета, сколько можно получить тепла в проволоке, сопротивление которой R омов при силе тока в J ампер, за тот или другой промежуток времени. Итак, закон Джаяуля выражает следующий факт. Количество тепла, выделенное током в проводнике, прямо пропорционально сопротивлению этого проводника, прямо пропорционально времени и прямо пропорционально квадрату силы тока.

Положим, что сопротивление проволоки равно одному ому, сила тока—одному амперу, тогда в каждую единицу времени будет выделяться в проволоке приблизительно по $1/4$, точнее 0,24 калории.

Это количество принимается в некоторых расчетах за меру—за единицу энергии или работы—и носит название джауля или уатт-секунды. Итак, один джауль соответствует 0,24 малой калории, а так как одна малая калория равна 0,427 килограмм-метра работы, то один джауль или одна уатт-секунда равна 0,102 килограмметра. Мощность, соответствующая этой единице работы, называется уаттом. Уатт есть один джауль в секунду. Так как всеми единицами приходится пользоваться в различных расчетах, составим таблицу.

Единицы для измерения энергии:

1 джауль=1 уант \times секунда=0,24 калории (мал.)=0,102 килогр.-метра.

100×3600 джаулей=100 уант часов=1 гектоуант час. (единица, по которой производится расчет отпускаемой для освещения энергии).

1 гекто-уант час (в Москве стоит 1,6 коп.)=86,4 больших калорий.

1 кило-уант час=10 гекто-уант \times часов=1000 уант \times часов.
1 кило-уант час=864 больших калорий.

Единицы для измерения мощности.

1 джауль $\frac{1}{секунда}$ =1 уант=0,24 мал. калории в секунду=0,102 килограмметра в секунду.

1 гекто-уант=100 уант=100 джаулей в секунду=24 мал. калор. в секунду=10,2 кгр. м. в сек.

1 килоуант=1000 уант=1000 джаулей в секунду=240 мал. калорий в секунду=0,24 больших калорий в секунду=102 килогр. метр. в секунду=1,36 лошадиной силы.

1 лош. сила=75 килограмм-метров в секунду=736 уант=0,736 кило-уант.

Для расчетов в круглых цифрах удобно помнить, что мощность в один килоуант равняется приблизительно $1\frac{1}{3}$ лошадиной силы.

В первой части курса мы провели связь между килоуантом и лошадиной силой и только теперь, познакомившись с электрическими измерениями, мы видим, откуда возникла эта единица, и почему в электрических установках взята именно эта единица мощности: мы видим, что она тесно связана с вольтром, ампером и омом.

Мощность, соответствующая одному амперу при одном вольте или, что то же самое, при одном ампере в проводнике, в один ом есть один уант. Килоуант в 1000 раз больше. Только эти соображения и могут оправдать введение новой единицы мощности и соответствующей ей единицы работы наряду с установленными уже единицами: лошадиной силой и килограмметром.

Остановимся теперь на многочисленных применениях закона Джоуля. Прежде всего формула (II) и (III) дают нам возможность подсчитать количество тепла, выделяемое любым током в любом проводе, за какой угодно промежуток времени. Если нам требуется определить, до какой температуры у нас произойдет нагревание, то нам надо знать, какую массу мы должны прогреть, и главное, как велики потери тепла: как быстро происходит остывание. Зная эти данные, мы можем рассчитать электрическую греющую плиту—электрическую плиту. Устройство плиты очень простое: на кусок огнеупорного вещества, чаще всего, азбеста, наматывается проволока, напр., из никеля так, чтобы обороты ее не касались друг друга; она покрывается еще слоем азбеста и вставляется в ящик-плитку. На такой плитке при накаливании проволоки током можно изготовить пищу. Для кипячения воды делаются также сосуды с двойными стенками, между которыми вставлены куски азбеста, обмотанные проволокой. Этот способ изготовления пищи выгоден там, где электрическая энергия дешева, где двигателем, добывающим электрический ток, служит водяная сила, или где дешево топливо, употребляемое для двигателей, приводящих в движение динамо-машины. Интересно также и то, что при изготовлении пищи почти вся энергия идет в полезную для нас работу: бесполезные потери очень невелики; все необходимое тепло выделяется как раз в том месте, где происходит процесс варки или поджаривания. Нам нет необходимости согревать большую плиту, каменные стены, воздух кухни и т. д., не говоря уже об огромных количествах тепла, уносимых в наших топках через трубу на воздух.

Так как электрическую энергию легко учесть, измеряя силу тока и напряжение, то очень нетрудно подсчитать, сколько энергии требуется на изготовление того или другого рода пищи. Оказывается, что дороже всего обходится суп и овощи, которые требуют продолжительного кипячения. Количество энергии, потребное для того, чтобы зажарить кусок мяса, по сравнению с этим ничтожно мало.

Тепловым действием тока пользуются также для того, чтобы предохранить себя от вредных последствий этого же самого теплового действия. Устройство предохранителей основано на том, что в цепь включают легко расплавляю-

щуюся проволоку S (см. рис. 10). Толщина этой проволоки подобрана так, что при силе тока, которую считают уже опасной, проволока должна расплавиться и тем самым разорвать цепь. На рис. 10 изображена схема расположения предохранителя.

Провода A B городской сети, дающей 120 вольт, питают лампу накаливания, имеющую сопротивление, скажем, 240 ом.

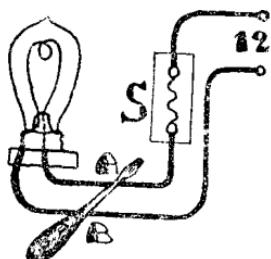


Рис. 10.

Сила тока в лампе будет 0,5 ампера $= \frac{120}{240}$. Предположим, что мы нечаянно коснулись обнаженных проводов A и B, подходящих к лампе,

соединив толстым проводом оба провода A и B, например, отверткой, пусть сопротивление этого провода будет 0,1 ома. Таким образом, у нас должен получиться ток в 1200 ампер.

В первый же момент тонкая проволока предохранителя S перегорит или даже превратится в пар; поэтому ток громадной величины, который получается у нас при „коротком замыкании“ проводов A и B, просуществует очень малую долю секунды, в течение которой расплавляется проволочка предохранителя; в формулу закона Джоуля (II) надо подставить вместо t малую дробь, скажем, $\frac{1}{1000}$, поэтому число калорий, которое выделится за это короткое время, несмотря на большую силу тока, будет ничтожно мало.

Но самым важным применением теплового действия тока является бесспорно электрическое освещение. Электрические лампы, если не считать свечения трубок с разреженным газом, пока еще не имеющих широкого распространения,—состоят из двух групп: из ламп накаливания и т. н. дуговых ламп. Вот здесь у нас на столе выставлен целый ряд ламп накаливания, мы будем их зажигать одну за другой, сравнивать свет, даваемый ими, и обсуждать их преимущества и недостатки.

Начнем с угольной лампы. Если мы оглянемся назад в историю техники XIX столетия, то мы увидим большое число попыток разных изобретателей построить лампу накаливания: эти опыты были удачны в том смысле, что лампа горела и давала свет, но в то же время никак не удавалось.

придать ей удобную для практики форму. Только в семидесятых годах Эдиссону удалось решить эту задачу и наладить массовое производство этих ламп. Самое трудное состояло в том, чтобы приготовить достаточно прочные и тонкие угольные нитки, которые можно было бы укрепить в стеклянном сосуде, из которого выкачивается воздух. Воздух выкачивается, во-первых, для того, чтобы устранить кислород—это необходимо, чтобы накаленный уголь не сгорел—и, во-вторых, чтобы уменьшить потери тепла: через разреженное пространство потери, по причине очень малой теплопроводности разреженных газов, сведены к возможно малой величине. Как бы то ни было, но угольную лампу накаливания нельзя сильно накаливать: она всегда светится желтоватым светом; если ее накалить, как следует, до-бела, то она быстро разрушается, уголь испаряется, колпачек лампы покрывается темным налетом, и угольная нить перегорает.

Были сделаны довольно удачные попытки покрывать угольную нить тонким слоем металла, получить т. н. „металлизованные“ нитки, но все-таки сильно увеличивать температуру накала не удалось. Большой успех был достигнут, когда удалось научиться готовить тонкие проволоки из тугоплавких металлов и их сплавов (тантал, вольфрам и т. д.). Таким образом, удалось значительно поднять температуру накала. Мы зажигаем сейчас одну такую „экономическую“ лампу, вы сразу видите, насколько более свет; в то же время оказывается, эти лампы при одной и той же силе света потребляют значительно меньше энергии, почему лампы этой системы и называются экономическими. Лампы эти имеют тот недостаток, что они менее прочны: проволочки часто разрываются от тряски, вот почему для освещения трамвайных вагонов употребляются до сих пор угольные лампы. Но и в этих усовершенствованных лампах можно было бы добиться лучших результатов. Проволоки выдержали бы более сильный накал, но при этой высокой температуре начинает довольно быстро испаряться вольфрам, из которого сделаны проволоки, несмотря на то, что он принадлежит к числу наиболее тугоплавких металлов. Колпачек лампочки быстро покрывается изнутри слоем осевших паров вольфрама, а проволока в наиболее тонком месте, разрывается. Из этого затруднения вышел американский физик Лангмюр.

Он построил лампу с тонким металлическим волоском, свернутым в спираль. Спираль занимает небольшую центральную часть лампы. Лампа наполнена чистым азотом, при чем в холодном состоянии давление равно $\frac{1}{2}$ атмосферного. При горении лампы давление поднимается до атмосферного давления. При этом, понятно, увеличиваются потери на теплопроводность, хотя все-таки эти потери не так велики, благодаря тому, что спираль в общем имеет малые размеры. Но этот недостаток с избытком покрывает весьма существенные преимущества: проволоку можно сильнее накаливать, а чем выше накал, тем меньшая затрата энергии на данное число „свечей“. Я зажигаю эту, так называемую „полууаттную“ лампу в 500 свечей—мы сейчас увидим, отчего она имеет такое название.—Вы видите, она горит ослепительно белым светом. Отчего же, спрашивается, несмотря на большой накал, проволока не так быстро испаряется? Дело сводится к следующему: испарение идет быстро в сильно разреженном пространстве потому, что оторвавшиеся молекулы металла могут беспрепятственно лететь к стенкам, не сталкиваясь или почти не сталкиваясь с молекулами разреженного воздуха, которого в лампе осталось немного. Другое дело, когда накаленный волосок окружен атмосферой азота почти при атмосферном давлении. Тогда оторвавшиеся от накаленной проволоки молекулы вольфрама в огромном большинстве случаев, натолкнувшись на молекулы азота, отскакивают обратно в проволоку идерживаются ею, и только немногим из них удается проскочить между молекулами азота и, так сказать, „вмешаться в толпу“ молекул азота и, таким образом, окончательно уйти от проволоки. Испарение будет итти, но оно сильно замедлится, а это только нам и нужно: если лампа прогорит 800—1.000 часов, то этого достаточно, чтобы окупить расходы по ее изготовлению. Только глубокие познания в области кинетической теории материи и процесса испарения позволили Лангмьюру построить эту лампу. Лампа эта, как оказывается, очень экономно расходует энергию, на 500 свечей, например, она берет около 250 уатт, т. е. по $\frac{1}{2}$ уатта на свечу, отчего она и называется полууаттной, тогда как угольные лампы берут от 3 до 4 уаттов на свечу. Вы видите, какой успех достигнут Лангмьюром. Любопытно отметить те условия,

при которых работал и работает сейчас Лангмьюр: Он является заведующим одной из самых больших физико-химических лабораторий во всем мире. Эта лаборатория принадлежит едва ли не самому крупному капиталистическому предприятию — „Всеобщей компании электричества“. Несмотря на то, что лаборатория эта обслуживает заводы, в ней разрешается Лангмьюру и его сотрудникам вести какие угодно отвлеченные теоретические исследования, словом — предоставляется *в этом отношении* полная свобода. Но при одном условии: всякое практическое усовершенствование лампы или какого угодно другого прибора, вытекающее из этих теоретических работ, переходит в неотъемлемую собственность „Всеобщей компании“. Технические детали хранятся в тайне, и даже воспрещается оглашать имена авторов этих изобретений; только через несколько лет узнали, что изобретателем этой лампы был Лангмьюр. Теоретические же работы, имеющие часто очень отдаленное отношение к вытекающим из них выводам, разрешается опубликовать за подписью их действительного автора.

Этот пример в одном отношении показателен: он показывает, насколько теория тесно связана с практикой, и как важно в целях развития техники поддерживать теоретическую работу, на первый взгляд как будто непосредственно и не связанную с практическими потребностями. С другой же стороны — мы ясно видим, что, несмотря на полную, казалось бы, „свободу“ исследования при капитализме, ученый попадает в жестокую кабалу.

Нам остается рассмотреть еще электрическое освещение с помощью дуговых ламп. Явление вольтовой дуги было открыто в самом начале XIX столетия знаменитым английским химиком Дэви и несколько раньше проф. Петровым в России. Явление заключается в следующем: если ток от сильного источника подвести к двум соприкасающимся друг с другом углям, то в месте соприкосновения углей происходит сильное разогревание углей; если эти раскалившиеся угли осторожно раздвинуть, не разрывая их связи с источником тока, то между углями получается яркая светящаяся синеватым светом полоса, имеющая чаще всего вид дуги — отчего и называется вольтовой „дугой“, а концы углей, особенно тот, который соединен с положительным полюсом источника,

светится ослепительным белым светом. Чтобы наблюдать это явление, мы воспользуемся вольтовой дугой, горящей в нашем фонаре, и при помощи собирательного стекла отбросим изображение дуги и углей в увеличенном виде на белый экран. Мы сразу замечаем, что один из углей светится ярче, это—как раз тот уголь, который соединен с положительным полюсом нашего источника: он быстрее сгорает, почему его всегда делают толще. Вы видите, как концы углей покрыты двигающимися капельками—это плавятся всевозможные примеси угля. Чтобы показать, как велика температура в дуге, мы вносим в нее кусок железа, держа его за один конец в длинных щипцах. Вы видите, как железо быстро расплывается и капает в выемку или т. н. кратер положительного угля, и как эта капля кипит и скоро исчезает, испарившись и сгорев в дуге. Мы вносим теперь с помощью тех же щипцов кусок кирпича. Вы видите, что кирпич начинает плавиться и кипеть. Температура вольтовой дуги достигает громадной величины в 3500—4000 градусов (температура всего выше в самом „кратере“ положительного угля), поэтому вольтовой дугой пользуются, как источником тепла для изготовления, например, высоких сортов стали, употребляющихся при постройке аэропланов, автомобилей и в целом ряде других производств. Вы видите на изображении дуги (см. рис. 11), что главным источником света являются концы углей и даже конец одного положительного угля, сама же дуга светится значительно слабее. Это свечение, однако, можно усилить, устраивая по оси одного из углей отверстие и забивая его солями всевозможных металлов, например, кальция, дающих желтовато-красноватый свет в накаленном



Рис. 11.

один конец в длинных щипцах. Вы видите, как железо быстро расплывается и капает в выемку или т. н. кратер положительного угля, и как эта капля кипит и скоро исчезает, испарившись и сгорев в дуге. Мы вносим теперь с помощью тех же щипцов кусок кирпича. Вы видите, что кирпич начинает плавиться и кипеть. Температура вольтовой дуги достигает громадной величины в 3500—4000 градусов (температура всего выше в самом „кратере“ положительного угля), поэтому вольтовой дугой пользуются, как источником тепла для изготовления, например, высоких сортов стали, употребляющихся при постройке аэропланов, автомобилей и в целом ряде других производств. Вы видите на изображении дуги (см. рис. 11), что главным источником света являются концы углей и даже конец одного положительного угля, сама же дуга светится значительно слабее. Это свечение, однако, можно усилить, устраивая по оси одного из углей отверстие и забивая его солями всевозможных металлов, например, кальция, дающих желтовато-красноватый свет в накаленном

ния, например, высоких сортов стали, употребляющихся при постройке аэропланов, автомобилей и в целом ряде других производств. Вы видите на изображении дуги (см. рис. 11), что главным источником света являются концы углей и даже конец одного положительного угля, сама же дуга светится значительно слабее. Это свечение, однако, можно усилить, устраивая по оси одного из углей отверстие и забивая его солями всевозможных металлов, например, кальция, дающих желтовато-красноватый свет в накаленном

состоянии, тогда сама дуга уже ярко окрашивается и испускает значительно больше света. Таким путем удается без новой затраты энергии более выгодно ее использовать, т. е. получить излучение, действующее на глаз. Оказывается, что почти все источники света наряду с видимым светом дают лучи невидимые и, следовательно, для освещения бесполезные. Задача техники состоит в том, чтобы увеличить количество видимого света за счет испускания невидимых лучей. Если дуга питается переменным током, то число перемен должно быть не менее 30 в секунду, иначе получается невыносимое для глаз мигание. Это мигание, однако, можно заметить и в лампах, питаемых переменным током, дающим 50 перемен в секунду (пятьдесят раз в секунду ток идет в одну сторону, пятьдесят — в другую). Заметить это можно следующим образом: если вы стоите под лампой, которая горит над Вами на фонарном столбе или под потолком, то надо взять в руку ключ или вообще какой-либо блестящий, лучше всего полированный металлический предмет и быстро махать им при свете лампы. Вы сразу увидите ключ в нескольких положениях на подобие спиц колеса. Объясняется это тем, что верхний уголь, повернутый накаленной частью вниз, попеременно будет то положительным, то отрицательным и, следовательно, то более, то менее ярким, а так как впечатления в глазу сохраняются около $1/10$ секунды, то мы сразу видим ключ в нескольких положениях ярко освещенным, а в промежутках между этими положениями он будет казаться более темным.

В 1914 году проф. Луммеру удалось достигнуть с помощью дуги температуры выше температуры наружных оболочек солнца (температура наружной оболочки солнца около 6400 градусов). Луммер получил 6900—7000 градусов. Достиг он этого, заставляя гореть дугу в водороде при 22 атмосферах давления. Исходил он из следующих соображений: почему температура вольтовой дуги при обычных условиях постоянна? Потому что уголь плавится и кипит, а при плавлении и кипении все тепло идет на работу раздвижения частиц, и температура держится постоянной. С другой стороны мы знаем, что при повышении давления температура кипения повышается (см. лекцию IX, I часть), а при пони-

жении давления жидкость кипит при более низкой температуре. Отсюда вывод: заставляя дугу гореть при более высоком давлении, мы можем повысить температуру. Это рассуждение было блестяще подтверждено Луммером в 1914 году. В настоящее время в Америке удалось получить, идя этим путем, и еще более высокие температуры.

ЛЕКЦИЯ ТРЕТЬЯ.

СОДЕРЖАНИЕ.

Естественные и искусственные магниты; строение магнита. Временное намагничение. Понятие о магнитном поле и его исследовании. Теория Фарадея. Магнитное поле электрического тока. Электромагнит. Связь магнитных явлений с электрическими. Электрический двигатель или мотор.

На первой же лекции, посвященной разбору явления электрического тока, мы использовали его магнитное действие. Эта характерная особенность электрического тока была использована при построении измерителя тока гальванометра или амперметра. Действие измерителя основывалось на действии стального магнита, поворачивавшего цилиндр, обмотанный проволокой, по которой мы пускали электрический ток. Познакомимся теперь несколько ближе с теми явлениями, какие производят магниты: нам сегодня же на основании тех опытов, какие мы сейчас увидим здесь на этом столе, удастся установить очень тесную связь между магнитом и явлением электрического тока. В природе существуют так называемые естественные магниты, представляющие собой соединение железа с кислородом, носящее название магнитного железняка¹⁾. Куски этого железняка обладают способностью притягивать кусочки железа и стали; но это притяжение проявляется далеко не во всех частях этого естественного магнита, те части этого куска, где железные опилки или гвозди прилипают, называются магнитными полюсами. Если таким естественным магнитом поте-

¹⁾ Химическая формула $Fe_3 O_4$.

реть полосу закаленной стали, то эта сталь становится сама магнитом, и с ее помощью можно опять таким же путем намагнитить другие стальные полосы и т. д. Посмотрим, как производится намагничивание. Я беру стальную полосу—старое полотно ножевки с затупившимися уже от работы зубцами—оно не намагнично,—это я доказываю тем, что кладу это полотно на кучу железных опилок и поднимаю его снова наверх. Вы видите, что опилки не прилипают. Теперь я беру стальной магнит и одним из его концов (см. рис. 12) прикасаюсь к середине полотна ножевки О и веду,

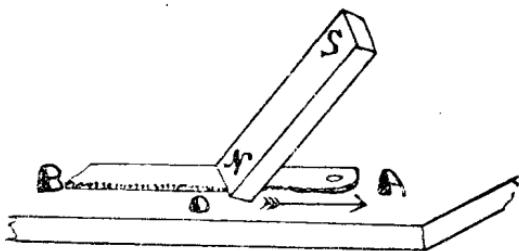


Рис. 12.

все время касаясь концом N магнита, до конца А; здесь я отрываю магнит, отодвигаю его, перевортываю его в воздухе и, касаясь теперь концом S магнита средней части, по-

ложим в О, таким же путем веду конец S вдоль полотна до В; повторим эту операцию несколько раз. Опыт показывает, что надо одинаковое число раз водить концом N от О до А и концом S от О до В. Теперь я опускаю полотно в кучу опилок, и Вы видите, что на концах полотна опилки густо нависли: стальное полотно ножевки намагничились, при чем „полюсы“ этого магнита находятся как раз на концах полотна. Обращаю особенно ваше внимание, товарищи, что посередине опилок совсем не видно. Теперь я переламываю полотно на две части и опускаю обе части в опилки. Вы видите, что каждый кусок стали оказался магнитом с двумя полюсами. В местах излома появились полюсы, которых раньше, как вы сами видели, не было; опилки до излома там не прилипали; теперь же они висят густыми гроздями. Я переламываю каждый из кусков еще раз и с тем же результатом. Каждый самый маленький кусок магнита является магнитом с двумя полюсами. Таким образом, мы никак не можем отделить один полюс от другого. Для физики эта задача настолько же безнадежна, как получить плоский лист бумаги, у которого была бы одна лицевая сторона и не было бы обратной стороны или изнанки! Итак, мы приходим

путем опыта к выводу, что каждая самая малая часть магнита, какую мы только можем получить, является сама магнитом с двумя полюсами.

Посмотрим теперь, как действуют магниты друг на друга. У меня здесь на столе стоит несколько стрелок (см. рис. 12), стоящих довольно далеко друг от друга. Стрелки эти могут поворачиваться вокруг игл, на которые они насажены. Эти стрелки намагниченны так, как у нас была намагниченна стальная полоса, т. е. полюсы стрелок будут на их концах—это мы можем проверить, опуская стрелку в кучу опилок. Опыт показывает, что все стрелки одним своим полюсом повернуты на север—эти полюсы мы называем северными, противоположные—южными¹⁾.

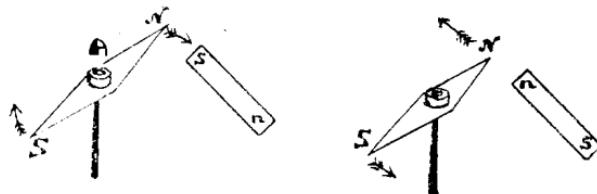


Рис. 13.

Чтобы всем в аудитории полюсы были видны, мы на все северные полюсы нацепили синие бумажки, на южные—красные. Теперь я беру одну из стрелок, снимаю ее с иглы и придвигаю ее северный полюс к северному полюсу другой стрелки, вращающейся на игле: происходит отталкивание: северный полюс одной стрелки отталкивает северный полюс другой (рис. 12). Приближаем теперь северный полюс стрелки, которую я держу в руках, к южному полюсу—получается притяжение, и наоборот: если мы приблизим южный полюс к южному, будет отталкивание; приближение южного к северному дает притяжение.

Результат этих опытов мы можем сформулировать так: *одноименные полюсы отталкиваются, разноименные—притягиваются*.

Теперь мы сможем объяснить, почему стрелки поворачиваются одним концом на север. Земной шар представляет собой большой магнит²⁾.

¹⁾ Отсюда ясно, какое значение имеет магнитная стрелка, насаженная на острие, т. е. так называемый компас, или буссол. Этот несложный инструмент дает нам возможность определять без помощи звезд страны света. Он, следовательно, заменяет нам недостающее нам „магнитное“ чувство, при помощи которого, будь оно у нас, мы узнавали бы, где север, где юг.

²⁾ Магнитные полюсы земли не совпадают с географическими; один из магнитных полюсов лежит в северной части Америки.

Вблизи его северного географического полюса находится южный магнитный, который и притягивает к себе все северные полюсы магнитных стрелок. Необходимо иметь в виду, что раз мы назвали северным полюсом тот конец стрелки, который смотрит на север, то это значит, что находящийся вблизи северного географического полюса земной магнитный полюс должен быть противоположным, т. е. „южным“.

Из сказанного мы можем сделать еще один вывод. Если мы возьмем два магнита, одинаково сильно намагниченных, и сложим их так, чтобы северный полюс одного прикасался к южному другого, то при равной силе магнитов такая группа из двух полюсов не будет действовать настоящую в некотором отдалении магнитную стрелку.

В самом деле, южный полюс одного магнита будет с такой же силой притягивать северный полюс стрелки, с какой северный другого будет его отталкивать. Это обстоятельство поможет нам разъяснить строение магнита. Положим, что магнит (см. рис. 13) состоит из маленьких магнитиков,

имеющих, быть может, молекулярные размеры и расположенных, как указано на чертеже. На его северном полюсе N мы имеем свободные концы магнитиков I ряда, т. е. все однотипные полюсы. Точно также на южном полюсе S мы имеем свободные концы последнего ряда; N' и S' будут полюсы магнита. В

S

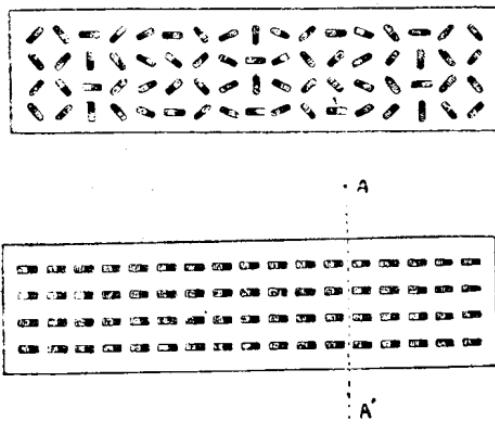


Рис. 14.

средней же части магнита, скажем, по линии AA', каждому южному полюсу любого магнитика в ряде, лежащем справа, соответствует противоположный полюс магнитика следующего ряда слева от AA'. На том же рисунке выше изображен кусок ненамагниченной стали: все магнитики расположены в полном беспорядке: мы нигде не видим полюсов всего магнита. Таким образом, процесс намаг-

ничения можно рассматривать, как процесс упорядочения расположения „элементарных“ или „молекулярных“ магнитов, расположенных в ненамагниченном состоянии в полном беспорядке. Английский физик Юинг построил для пояснения строения магнита следующую остроумную модель: на плоской доске (для демонстраций при помощи фонаря удобно взять стеклянную пластинку) расположены иголки, на которые надеваются намагниченные стрелки, у которых все северные полюсы как-нибудь отмечены. Если по соседству нет магнита, то, под влиянием взаимных притяжений и отталкиваний, стрелки сами собой располагаются без всякого порядка. Если вращение стрелок не особенно свободно, благодаря трению, надо слегка постучать пальцем по стеклу. Известно, что магниты размагничиваются при ударе, а также при нагревании. Так как тепло есть движение молекул, то это движение, конечно, облегчает действие притягательных и отталкивающих сил, вызывающих беспорядочное расположение магнитов. В самом деле, две параллельно стоящие стрелки не будут находиться в устойчивом состоянии, если оба одноименных полюса обращены в одну и ту же сторону. Таким образом, если мы даже и расположим все стрелки параллельно, то при тряске со временем у нас это правильное расположение расстроится¹⁾

Это очень наглядно видно на модели Юинга: если мы искусственно повернули все магниты в одну сторону и предоставили их самим себе, то—то один, то другой магнитик начнут поворачиваться и рано или поздно все окажутся расположеными без всякого видимого порядка. Постукивание по стеклу ускоряет этот процесс. Если мы поднесем к этой модели сильный магнит, то стрелки начнут поворачиваться своими северными полюсами в ту сторону, где находится южный полюс намагничающего магнита. Процесс идет быстрее, если все время постукивать по стеклу, на котором стоят вращающиеся стрелки. Это находится в полном согласии с фактами, сопровождающими процесс намагничения. Намагничение идет быстрее, если по намагничиваемой полосе стучать деревянным молотком. Таким образом, модель Юинга

¹⁾ Конечно, при условии, что по соседству нет сильных магнитов, которые могли бы вызвать и поддерживать это расположение или „ориентировку“.

дает нам правильную картину наблюдаемых процессов, протекающих в магните.

Познакомимся еще с одним явлением. Если взять не закаленную сталь, а кусок мягкого железа, то, как оказывается, железо можно очень сильно намагнитить, приближая к нему стальной магнит, но только это намагничение тотчас и почти бесследно исчезает, как только мы удалим намагничающий магнит. Объяснить это на модели Юинга можно так: если бы нам удалось сделать колпачки стрелок так, чтобы стрелки вращались с очень малым трением, то расстройка „ориентации“ магнитов происходила бы очень быстро. Таким образом, становясь на эту точку зрения, приходится допустить, что в мягком железе и не закаленной стали молекулярные магнитики легко поворачиваются, гораздо легче, чем в закаленной стали. Необходимое же ускорение процесса размагничивания производится той встряской, какую производят тепловые движения молекул.

Познакомимся на опыте с явлением временного намагничения железа. При помощи фонаря мы отбрасываем на экран изображение железного цилиндра SN (рис. 15). На подставке под цилиндром лежат опилки. Когда я приближаю

магнит к цилиндру SN, не касаясь его, Вы видите, как опилки притягиваются к цилинду. Но как только я отодвигаю магнит, опилки падают.

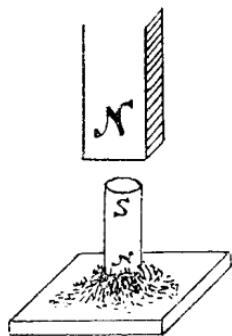


Рис. 15.

Из опыта известно, что магниты, имеющие форму подковы (см. рис. 16), гораздо дольше сохраняют свое намагничение, если на их полюсах N, S лежит кусок мягкого железа, т. н. якорь B. На том же рисунке изображена схема расположения молекулярных магнитиков, как в самом магните, так и в железном „якоре“. Вы видите, что магнитики образуют замкнутые цепи, не имеющие нигде свободных концов или полюсов. А вблизи полюсов всего сильнее идет процесс размагничивания. Две „цепочки“ из магнитиков всего скорее оттолкнут друг друга своими концами (см. рис. 14). Таким образом, рассмотренная нами теория очень удачно объясняет целый ряд явлений, хорошо изученных, а кроме того эта теория

как бы напрашивается сама собой, настолько она тесно связана и переплетена с рассмотренными нами сейчас фактами.

Только что рассмотренное нами явление временного намагничивания железа, как мы сейчас увидим, сыграло громадную роль в установлении понятия „магнитного“ и „электро-магнитного поля“. А учение об электро-магнитном поле произвело в свою очередь целый переворот в физике в XIX столетии. Прежде всего, что мы называем магнитным полем? Вы видите, что если взять достаточно сильный магнит, то его действие на магнитную стрелку проявляется на больших расстояниях—больших по сравнению с самим магнитом. Если мы намагниченную маленькую стрелку повесим на очень тонкой нитке или проволочке и снабдим стрелку зеркальцем, чтобы при помощи отраженного от этого зеркальца луча света определять ничтожно малые повороты стрелки, то можно заметить при помощи этой стрелки перемещение магнита в соседней комнате и даже еще дальше. Таким образом, действие магнита на магнитную стрелку простирается на очень большую область, если только стрелка достаточно „чувствительна“. Вот вся эта область, окружающая данный магнит, в которой проявляется действие этого магнита на магнитную стрелку, называется магнитным полем. В разных частях поля, как нетрудно убедиться из рис. 17, положение магнитной стрелки, могущей вращаться вокруг оси О, будет разное. Рассмотрим сначала положение стрелки АВ, находящейся вблизи северного полюса магнита N, поле которого мы изучаем. Она устанавливается так, что ее южный полюс А повернут к северному полюсу магнита NS, при чем направление АВ совпадает с

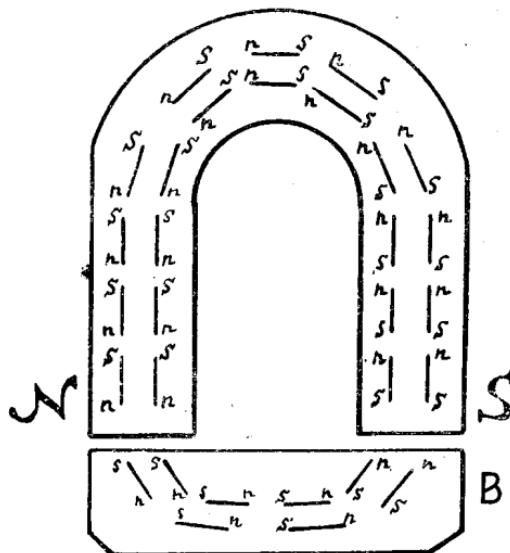


Рис. 16.

направлением магнитной силы. В самом деле, стрелка АВ только тогда не будет поворачиваться вокруг оси, когда магнитная ось стрелки (магнитная ось есть линия, соединяющая полюсы стрелки) АВ будет по направлению совпадать с направлениями силы притяжения Р и силы отталкивания Q. Что это действительно так, можно себе уяснить из чертежа 18.

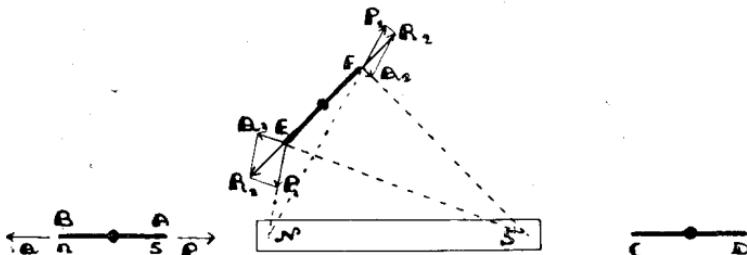


Рис. 17.

и положения стрелки А'В'. Эта стрелка изображена в таком положении, что направление ее магнитной оси не совпадает с направлением действующих сил притяжения и отталкивания. Ясно, что под действием этих сил стрелка вынуждена будет повернуться и

стать в положение А'' В''. Точно также легко определить положение стрелки СD (рис. 17). Несколько сложнее решить вопрос о положении стрелки ЕF, где надо считаться с притяжением и отталкиванием двух полюсов, помещающихся на концах Е, F, двумя полюсами магнита N и S¹.

Рис. 18.

В самом деле, на южный полюс Е стрелки действуют две силы:—сила Р₁—притяжение полюсом N, действующая по кратчайшей линии, и сила Q₁ отталкивания полюсом S, действующая по линии SQ₁. Точно также и на северный полюс действуют две силы Р₂ и Q₂. Складывая по правилу параллелограмма обе силы, действующие на каждый из полюсов, мы находим равнодействующие R₁ и R₂, которые и определяют собой направление стрелки EF. Итак, магнитная стрелка в магнитном поле располагается так, что ее направление совпадает с направлением силы, с которой магнит,

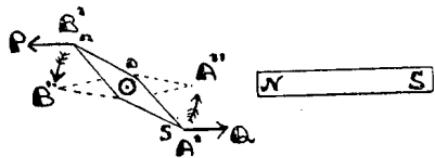


Рис. 18.

В первых двух примерах вблизи стрелок АВ и СD находился один из полюсов, другой находился так далеко, что им можно было пренебречь.

¹) В первых двух примерах вблизи стрелок АВ и СD находился один из полюсов, другой находился так далеко, что им можно было пренебречь.

поле которого мы изучаем, действует на эту стрелку. Так как у каждой стрелки два полюса и на нее в магнитном поле действуют всегда, по крайней мере, две силы, сводящиеся к R_1 и R_2 , то условились за направление силы в поле считать направление силы, с которой магнит действует на северный полюс стрелки. Так что в рассмотренном случае за направление силы „поля“ мы будем считать направление от Е к F, т. е. считая от южного полюса стрелки к ее северному. На следующем рисунке 19 показаны различные положения маг-

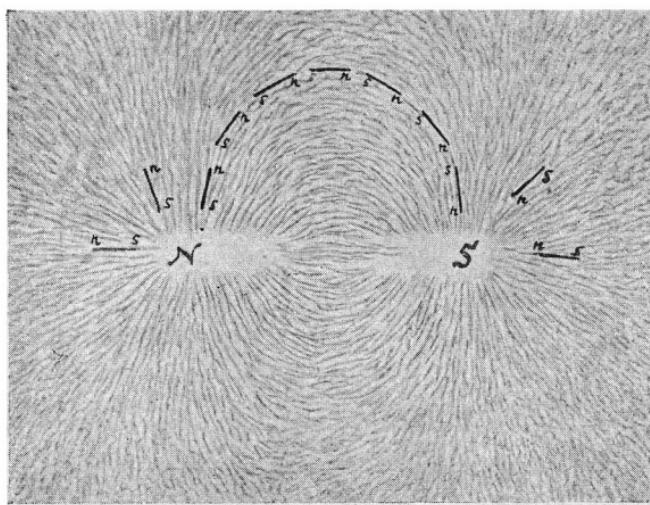


Рис. 19.

нитных стрелок в поле магнита. Эти стрелки определяют направление силы в магнитном поле, и, если их достаточно, они дают нам сразу картину того, в каком направлении действует магнит на стрелку, помещенную в любое место „поля“, которое он производит. Из чертежа видно, что эти стрелки располагаются в линии. Эти линии Фарадей предложил назвать „силовыми линиями“ или „линиями сил“. Действительно, на основании сказанного каждая стрелка, каждая составная часть такой „линии“ определяет направление, по которому действует магнит на стрелку. Но оказывается, что нет необходимости брать большое количество вращающихся стрелок. Достаточно взять большое количество железных опилок—опилки обычно имеют продолговатую форму. Каждый такой кусочек железа, попадая в магнитное поле магнита, намагничивается. Вспомним опыт с куском железа, опилками и при-

ближающимся магнитом. Поэтому все эти опилки превращаются в магнитные стрелки, при помощи которых можно отметить „линии сил“. Произведем следующий опыт. Помещаем на столе намагниченный стальной брускок, покрываем его листом картона и посыпаем железными опилками, слегка постукивая пальцем по картону. Вы видите, как опилки располагаются в цепочки—в линии, подобные тем, по которым устанавливались магнитные стрелки. Этот опыт можно сделать еще иначе: можно посыпать опилками стекло, под которымложен магнит; тогда с помощью фонаря можно изучать расположение опилок в увеличенном виде на экране. На рис. 20 изображены картины магнитного поля вблизи полюсов двух магнитов, как разноименных, так и одноименных.

Обратим внимание на существенное различие в этих двух случаях. Когда друг против друга стоят противоположные полюсы, то линии сил идут от одного полюса к другому, они как бы соединяют эти полюсы. Наоборот, когда друг перед другом стоят одноименные полюсы, то линии сил, выходящие из каждого полюса, не соединяются, а, завернувши в сторону, идут параллельно друг к другу. Эти картины магнитных силовых линий навели Фарадея на мысль о механизме магнитных притяжений и отталкиваний. Надо заме-

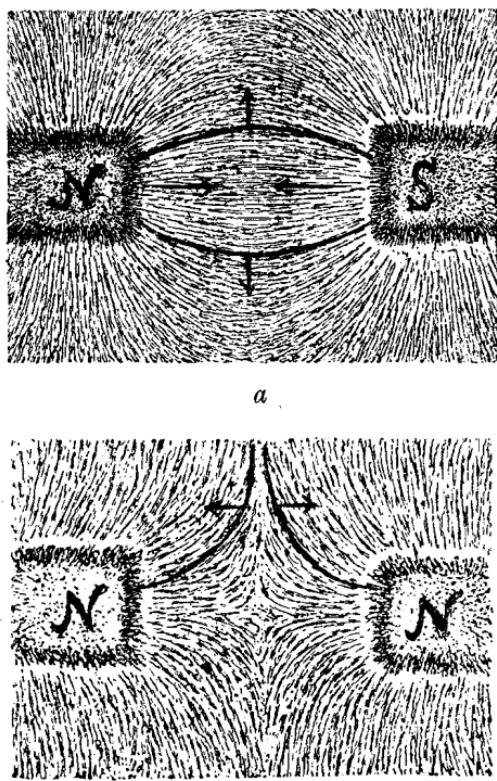


Рис. 20.

тить, что Фарадей—по профессии подмастерье переплетчика—изучал физику не в школе, а самостоятельно и, быть может, именно благодаря этому он не проникся некоторыми предрассудками, установившимися в то время (первая полу-

вина XIX века) в высших и средних школах. Именно в то время установился взгляд, что наряду с силами, действующими непосредственно, существуют еще силы, действующие на расстоянии без участия промежуточной среды. Так, например, я могу заставить двигаться санки, груженные дровами, непосредственно надавив на них, или потянув их за веревку. Здесь выражение: я приложил свою силу к санкам—означает сокращенное выражение всем известного факта передачи части движения моего тела другому предмету—санкам. Это явление всем и каждому понятно: мы это все видим и ощущаем на каждом шагу в своей практической деятельности. Но Ньютон показал, что движение земли и планет вокруг солнца происходит под действием „силы притяжения“ солнца. Солнце притягивает землю и планеты на расстоянии и притом очень большом, подобно тому, как земля притягивает падающий на нее камень. Воздух, находящийся между землей и камнем, никакой роли в этом явлении не играет. Ведь мы видели на опыте, что падение происходит совершенно так же, как и на воздухе и в трубке, из которой был выкачен воздух—оно происходит еще даже свободнее, потому что, выкачивая воздух, мы устранием влияние сопротивления воздуха. Точно также и магнит действует на другой магнит на расстоянии; действие это не уменьшается, если мы поместим оба магнита в безвоздушное пространство. Таким образом, и здесь действие передается на расстоянии, как будто бы без участия той среды, которая отделяет один магнит от другого. Надо заметить, что сам Ньютон делал оговорку, что он не мог никак себе представить, как передается притяжение от солнца к земле или от земли к луне, что он только на время, пока не найдено объяснения этому притяжению, принял его как нечто данное. Ученики же и последователи Ньютона не могли решить задачи, которая оказалась непосильной их учителю и, как это часто случается, объявили, что нечего и искать разъяснения загадки. Солнце притягивает землю, есть другой факт—магнит притягивает на расстоянии другой магнит; все это видят, и каждый может воспроизвести эти опыты, сколько угодно раз. Таким образом, трудность задачи и распространённость самих фактов—опыты с магнитами легко произвести каждому школьнику—повели к тому, что к явлениям

действия на расстоянии, с одной стороны, привыкли, перестали видеть в них что-либо необычное, а с другой стороны—привыкли к мысли, что попытка об'яснить действие на расстоянии обречена на неудачу. Так как Фарадей не прошел обычного курса в средней и высшей школе, то он и не усвоил себе этого предрассудка. Его здравый материалистически мыслящий ум не мирился с мыслью, что можно заставить двигаться какой-либо предмет, не касаясь его непосредственно или через посредство чего-то, что находится в промежутке между мной и этим предметом. Если я стою в десяти шагах от стула, то я могу его привести в движение только в том случае, если к стулу привязан один конец веревки, а другой я держу в руках, или если я упираюсь в него длинной палкой. Точно также, если магнит действует на

другой магнит, то между ними должны быть какие-нибудь связи—своего рода веревки (по которым передается действие от одного магнита к другому), хотя мы этих связей глазами и не видим. На первый взгляд мысль Фарадея кажется детски наивной и грубой, но мы сейчас же увидим, насколько эта мысль окажется практически полезной для выяснения очень многих сложных электро-магнитных явлений. Посмотрим, прежде всего, какие силы действуют в силовой линии, т. е. в цепочке, составленной из намагниченных опилок.

Мы видим (см. рис. 21а), что в каждой цепочке лежащие друг за другом опилки обращены друг к другу разноименными полюсами, в такой цепочке все частицы будут стремиться сблизиться друг с другом. В каждой такой цепочке будут по направлению длины действовать силы такого же рода, какие существуют в растянутой резиновой трубке АВ (см. рис. 21в), эти силы будут стремиться укоротить трубку. Но сходство между резиновой трубкой АВ и „силовой линией“ идет еще гораздо дальше. Растянутая резиновая трубка, сокращаясь по своей длине до АВ, раздается в поперечном направлении (см. рис. 21в) и будет оказывать давление на лежащую рядом с ней трубку. Но точно также и две цепочки, образо-

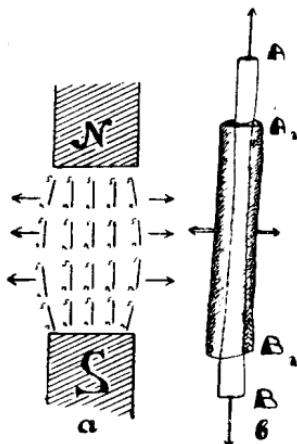


Рис. 21.

ванные опилками, будут отталкивать друг друга. В самом деле, из чертежа (21а) видно, что в двух цепочках, лежащих рядом, соседними являются одноименные полюсы, которые и заставляют каждую такую цепочку отталкивать соседние. Расположение силовых линий в магнитном поле и определяется борьбой этих двух действий: стремлением силовых линий, с одной стороны, возможно более укоротиться и с другой—их взаимным отталкиванием. Этим объясняется выгибание линий вблизи краев полюса на рис. 19а: большое число линий между полюсами отталкивает крайние и заставляет их изгибаться. Фарадей допускал, что опилки служат только средством обнаружить силовые линии: он считал, что между магнитами в существующей, но недоступной нашему глазу среде, реально существуют силовые линии, которые действуют так же, как натянутые резиновые трубки¹⁾.

Как бы нам не показалась мысль Фарадея смелой и неожиданной, посмотрим все-таки, какой он сделал вывод. Посмотрим еще раз на рисунки (черт. 20) и представим себе силовые линии замененными растянутыми резиновыми трубками, прикрепленными к полюсам магнитов N и S. Если магниты N, S сделать подвижными, то ясно, что укорачивающиеся и отталкивающие друг друга резиновые трубки, линии сил в одном случае будут сближать полюсы двух магнитов N и S, а в другом—раздвигать N и N. Мы заранее, зная картину магнитного поля, зная расположение линий сил, сможем сказать, какое и где будет иметь место движение. Можно взять очень сложное расположение большого числа магнитов, в котором трудно будет рассчитать, какой магнит куда будет двигаться под влиянием своих соседей. Но если мы получим для этого случая картину магнитных линий сил, то по этой картине, помня, что линии сил стремятся укоротиться и в то же время отталкивают друг друга, мы всегда скажем, как будет происходить движение под действием сил этого поля. Как бы кто

¹⁾ Фарадей и его знаменитый ученик Максвелль полагали, что реально силовая линия может представлять собой вихрь в эфире на подобие, например, смерча. Смерч, как известно, стремится укоротиться—это выражается в том, что в него втягиваются, с одной стороны, облака, с другой—предметы с земной поверхности увлекаются наверх; смерч поднимает их. Кроме того, при быстром вращательном движении развиваются центробежные силы расширяющие сечение смерча.

ни относился к теоретическим взглядам Фарадея (заметим, что в области теории, именно эти мысли Фарадея произвели переворот), но никто не сможет отрицать той практической пользы, какую представляет выработанный им метод изучения магнитного поля с помощью силовых линий. Это еще более станет нам ясным после ряда опытов с электрическим током. Я сейчас воспроизведу перед вашими глазами опыт, впервые осуществленный в 1820 году профессором Эрштедом в Дании. Я беру гибкую проволоку, соединяющую полюсы гальванического элемента, и приближаю ее, вытянув ее в прямую линию, сверху к магнитной стрелке. Вы видите, что северный полюс магнитной стрелки, отмеченный синей бумажкой (рис. 21),

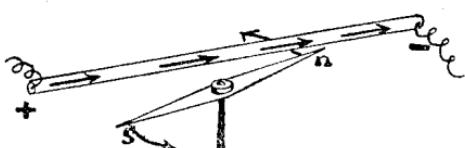


Рис. 22.

отклонился, если смотреть от меня—влево, или если смотреть от вас—вправо. Я поворачиваю проволоку так, чтобы теперь ток

шел по тому куску про-

волоки, которую я приближаю к магниту, не от меня к Вам, а от Вас ко мне, и приближаю к стрелке. Теперь стрелка поворачивается в другую сторону. Мы говорим: направление¹⁾ тока изменилось; изменилось также и направление отклонения стрелки. Чтобы знать заранее, куда отклонится стрелка, можно пользоваться двумя правилами: правилом Ампера или правилом Максвелля. Правило Ампера заключается в следующем: представьте себе, что вы плывете вдоль по проволоке по направлению тока и смотрите лицом на стрелку, тогда ее северный полюс должен отклониться от вас влево. Правило Максвелля более удобное: мы должны себе представить, что по направлению тока ввинчиваем бурав (правый), тогда направление поворота рукоятки бурава покажет направление, в котором должен переместиться северный полюс стрелки. Нетрудно сообразить, применяя оба правила к описанному и изображенному на чертеже 22 опыту, что оба правила дают согласные результаты. Только правило Максвелля избавляет нас от необходимости воображать самих себя плывущими по проволоке часто в таком

¹⁾ Направление тока в проволоке мы, как и в первой лекции, условно считаем от положительного полюса элемента к отрицательному.

положении, что от одной мысли у людей со слабым здоровьем кружится голова!

Теперь спросим себя, отчего магнитная стрелка поворачивается в опыте Эрштеда? Мы знаем, что она поворачивается в магнитном поле магнита. Естественно, является мысль, не возбуждает ли электрический ток магнитного поля и если да, то нельзя ли его исследовать с помощью опилок так, как мы исследовали магнитное поле магнита.

Пропустим прямолинейную часть провода, по которому идет ток, через лист картона и посыплем картон опилками. Вы видите, как опилки располагаются в „линиях сил“, образующие замкнутые кольца с центрами в отверстии, где проходит проволока. (См. рис. 23).

Направление этих линий мы можем определить с помощью правила буравчика, если нам известно направление тока. Проверить правильность нашего вывода мы всегда сможем, поставив по соседству с проволокой магнитную стрелку на острие и определив по ней направление магнитной силовой линии—это будет, как мы условились, направление от южного к северному полюсу магнитной стрелки. Свернем теперь проволоку в спираль—Фарадей предложил называть такие спирали „соленоидами“, что по гречески значит „трубкообразный“. Поместив над таким соленоидом картон с опилками,

мы получаем совсем такую же картину силовых линий, как от сильного магнита (см. рис. 19). Подвесив соленоид на двух длинных проволоках, по которым мы подводим ток к нему (рис. 24), мы замечаем, что концы соленоида ведут себя так же, как полюсы магнита. Один из полюсов соленоида отталкивается северным полюсом магнита и притягивается южным. Другой полюс обнаруживает обратное явление. С помощью правила буравчика можно сообразить, что се-

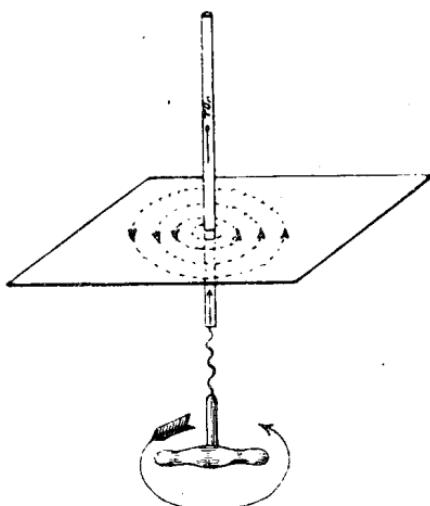


Рис. 23.

верный полюс соленоида будет на том его конце, где ток нам будет казаться идущим против направления движения стрелки часов. (На рис. 23 изображено рядом с соленоидом направление тока в нем, как оно нам представится, если мы будем смотреть с южного и с северного его конца).

Мы получили очень важный вывод: при помощи электрического тока мы можем осуществить все магнитные явления: мы можем получить подобие магнита. А так как с помощью электрического тока можно получить много таких явлений, которых нельзя получить, оперируя с одним магнитом, то, стало быть—магнитные явления составляют частный случай явлений электрического тока. Вот почему область физики, которой

мы занимаемся, правильнее называть учением об электромагнитных явлениях. Итак, магнитные явления сводятся к явлениям электрического тока, они представляют собой одно из проявлений электрического тока.

Если мы вставим в соленоид, по которому идет ток, кусок мягкого железа, то, после всего сказанного, ясно, что железо должно намагнититься. В самом деле, железо намагничивается, когда оно находится в магнитном поле магнита; в соленоиде оно будет находиться в магнитном поле тока. Подбирая достаточно сильный ток, мы можем получить очень сильное намагничение железа, т. е. можем построить сильный „электромагнит“. У нас здесь на столе на солидной подставке укреплен электромагнит небольших размеров. Железо, вставленное в два соленоида,

имеет форму подковы. Я прикрепляю к якорю пудовую гирю и прикладываю якорь

(см. рис. 25) к полюсам электромагнита и замыкаю ток в соленоиде. Я могу отпустить руки, и вы видите, что гиря удерживается электромагнитом. Я подкладываю под гирей подушку и раз-

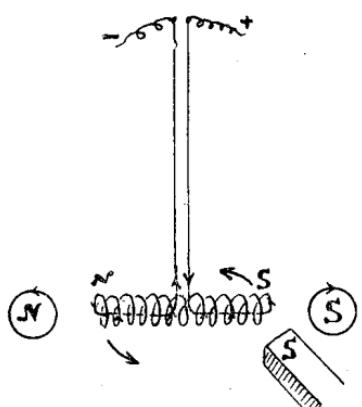


Рис. 24.

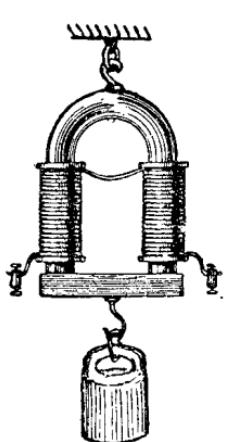


Рис. 25.

мыкаю ток: гиря тотчас отваливается и падает на подушку. Посмотрим теперь, как с помощью теории Фарадея можно заранее сказать, куда будет двигаться проволока, обтекаемая током, если эта проволока находится в магнитном поле. На чертеже 25 изображены полюсы магнита или электромагнита N, S: силовые линии отмечены стрелками. Пусть A изображает сечение плоскостью чертежа прямолинейной проволоки, и пусть ток идет по направлению от наблюдателя за чертеж через A. Представим себе, что мы ввинчиваем бурав в точке A; направление вращения бурава отмечено пунктирными линиями со стрелками. Посмотрим, какое получается поле, образованное совместно полюсами N, S и током. В верхней части чертежа над A силовые линии станут гуще. В нижней, наоборот, силовые линии тока будут идти против силовых линий N, S. Как будто в нижней части к полюсу N прибавили полюс S, чем поле и было ослаблено. Итак, в результате у нас получается более сильное поле сверху от A (на чертеже), т. е. более густо расположенные линии, а снизу более редкие. Но мы уже знаем, что силовые линии отталкивают друг друга, а следовательно, они будут оказывать на проволоку A более сильное давление с той стороны, где они гуще, чем в обратную сторону. Отсюда вывод: проволока должна двигаться в магнитном поле в сторону, указанную на чертеже стрелкой Р. Если изменить направление тока—это показано на том же чертеже в В, то направление движения будет противоположное. Этот результат мы сейчас можем проверить на опыте (см. рис. 27). Между полюсами магнита мы помещаем гибкий провод.

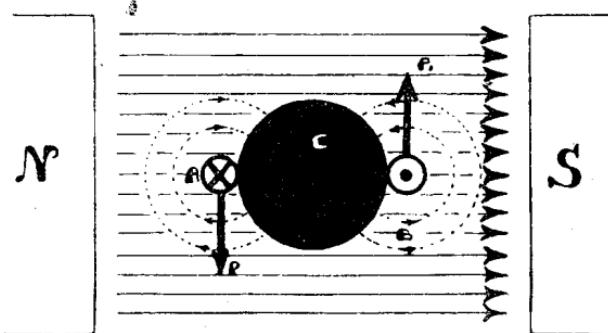


Рис. 26.

линиями со стрелками. Посмотрим, какое получается поле, образованное совместно полюсами N, S и током. В верхней части чертежа над A силовые линии станут гуще. В нижней, наоборот, силовые линии тока будут идти против силовых линий N, S. Как будто в нижней части к полюсу N прибавили полюс S, чем поле и было ослаблено. Итак, в результате у нас получается более сильное поле сверху от A (на чертеже), т. е. более густо расположенные линии, а снизу более редкие. Но мы уже знаем, что силовые линии отталкивают друг друга, а следовательно, они будут оказывать на проволоку A более сильное давление с той стороны, где они гуще, чем в обратную сторону. Отсюда вывод: проволока должна двигаться в магнитном поле в сторону, указанную на чертеже стрелкой Р. Если изменить направление тока—это показано на том же чертеже в В, то направление движения будет противоположное. Этот результат мы сейчас можем проверить на опыте (см. рис. 27). Между полюсами магнита мы помещаем гибкий провод.

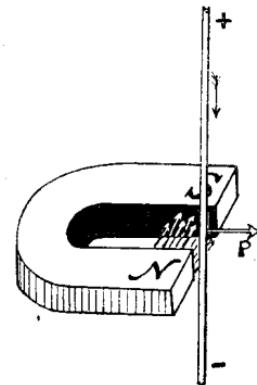


Рис. 27.

Когда япускаю ток в одном направлении, движение происходит в одну сторону: при перемене направления тока — и движение меняет направление. Точно также направление движения изменится, если изменить расположение полюсов магнита. Теоретически это можно показать, сделав новый чертеж и переменив на нем места N и S и, следовательно, направление стрелок, изображающих поле магнита. Важно отметить, что движение происходило так, как указано на чертеже, под прямым углом к направлению тока и под прямым углом к направлению линий сил. Для того, чтобы легче и быстрее находить направление движения проволоки, полезно запомнить следующее правило, т. н. правило трех пальцев левой руки (см. рис. 27).

Если мы указательный палец левой руки направим по направлению магнитного поля, третий палец по направлению тока,

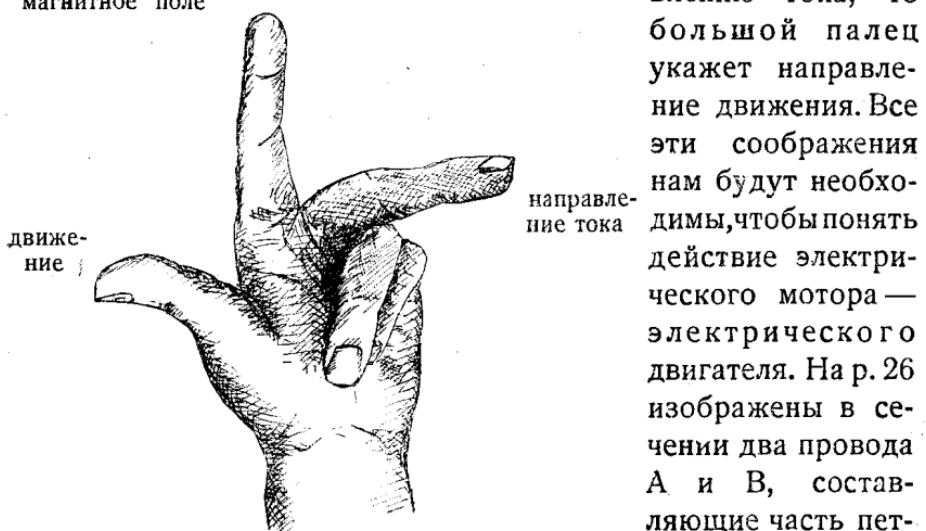


Рис. 28.

круг оси С барабан. Барабан находится в магнитном поле. На проволоки А и В, по которым ток идет в противоположных направлениях, будут действовать силы, стремящиеся повернуть барабан. Но это будет продолжаться только до тех пор, пока барабан не сделает пол-оборота: тогда А станет на место В и направление вращения изменится. Если мы, однако, к этому времени изменим направление тока в А и В, то изменится и направление сил, приложенных к А и В, и мы получим

направление тока, то большой палец укажет направление движения. Все эти соображения нам будут необходимы, чтобы понять действие электрического мотора — электрического двигателя. На р. 26 изображены в сечении два провода А и В, составляющие часть петли, охватывающей вращающийся во-

вращение в ту же сторону: на рис. 29 показано, как можно подвести ток к гибким щеткам, касающимся двух частей разрезанного кольца K, K_1 так, чтобы при вращении барабана каждая щетка касалась попеременно то одной, то другой части разрезанного кольца, а с частями колец неразрывно связаны части А и В проволочной петли, охватывающей барабан. Таким способом достигается желаемая перемена направления тока. Это приспособление мы сейчас покажем на действующей модели. Магнитное поле мы осуществляляем с помощью электромагнита. На вращающемся барабане С намотано только вместо одного несколько десятков оборотов проволоки, концы которой подведены к двум частям разрезанного кольца K, K_1 (см. рис. 29), к которым с помощью пружинок прижимаются угольные палочки, подводящие ток. Я пускаю ток, и вы видите, наш мотор начал вертеться.

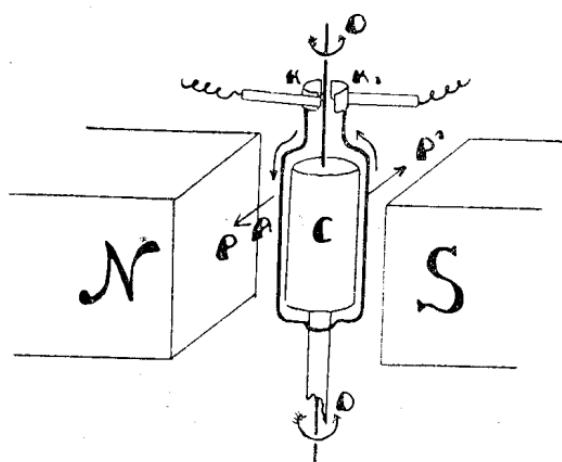


Рис. 29.

Вы видите, что мы только к концу сегодняшней беседы подошли к описанию действие двигателя. Вы видели, сколько явлений для этого понадобилось предварительно изучить; при чем многие из этих явлений как будто ничего не имели общего с мотором. Это лучше всего показывает, как сложно идет развитие производительных сил. Каждая достигнутая ступень в развитии производительных сил дает физику—часто стоящему довольно далеко от производства—новые возможности, новые технические средства к изучению природы. Таким путем открываются новые явления природы, что в свою очередь оказывает могучее влияние на развитие производительных сил. В этой сложной цепи польза каждого звена становится ясной только после того, как к нему присоединятся новые звенья, вот почему многие отвлеченные исследования людей науки до поры до времени кажутся не свя-

занными с жизненными потребностями. Но одно несомненно: подчинить себе природу можно, только узнав ее, поэтому ни одно исследование природы, открывающее в ней что-либо новое, не может рано или поздно не оказаться полезным— и это бывает скорее рано, чем поздно!

ЛЕКЦИЯ ЧЕТВЕРТАЯ.

СОДЕРЖАНИЕ.

Электромагнитная индукция. Опыты Фарадея. Закон Ленца. Принцип динамо-машины. Постоянный и переменный ток. Трансформатор. Преимущества переменного тока. Передача энергии на расстояние.

Мы видели, что электрический ток вызывает движение магнитной стрелки— вызывает вокруг себя магнитное поле. С другой стороны, гибкая проволока, по которой пущен ток, приводится в движение магнитным полем. Фарадей, первый применивший установившийся теперь прием изучения магнитного поля—о чём у нас уже шла речь (см. III лекция),— поставил себе следующий вопрос: если магнитное поле и электрический ток производят движение, то нельзя ли движением проволоки или движущимся магнитным полем вызвать в проволоке электрический ток?

Опыты, которые с этой целью поставил Фарадей, блестяще удалились. Эти опыты, можно сказать, имеют историческое значение, так как они положили основу всей современной электротехнике.

Я сейчас произведу на ваших глазах повторение одного из этих опытов. Концы изолированной проволоки, намотанной на деревянную катушку А (рис. 30), соединяются с гальванометром. Так как в цепи нет источника тока, то стрелка гальванометра стоит на нуле. Я вдвигаю в катушку магнит NS, и вы видите, пока я вдвигаю магнит, стрелка отклоняется. Как только я движение прекратил, ток прекращается. Мы получили при движении магнита т. н. „индуктивный“ или „наведенный“ ток; движение магнита „наводит“, „инду-

цирует" ток в проволоке. Я выдергиваю магнит, теперь ток идет в обратную сторону—стрелка отклонилась в обратном направлении, но опять и в этом случае ток идет только, пока я двигаю магнит. Я переворачиваю магнит и всовываю опять его в катушку, я при этом двигаю вперед другой полюс—направление тока получается обратное тому, которое мы получали при первом опыте.

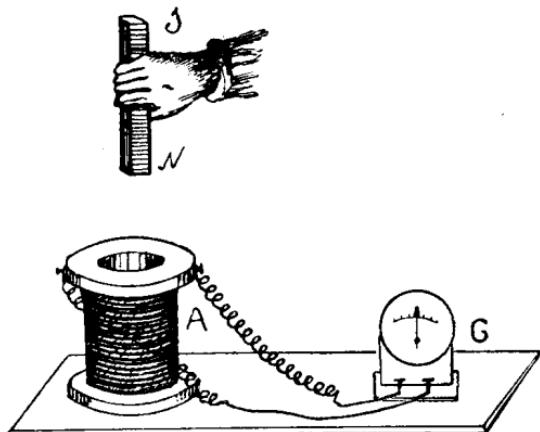


Рис. 30.

Чем быстрее происходит движение, тем сильнее получается ток. Я медленно вдвигаю и выдвигаю магнит—стрелка отклоняется не больше одного деления вправо и влево. Теперь я вдвигаю и выдвигаю как можно быстрее, и вы видите, как стрелка при этом отклонялась и в ту и в другую сторону на несколько делений.

Мы сейчас можем сделать некоторое обобщение. Вместо магнита я беру „соленоид“ (проводка, свернутая в спираль), по которому идет ток, и всовываю его в катушку—получается то же самое явление. Таким образом, не важно, чем вызвано магнитное поле,—важно относительное движение магнитного поля и проводника. Теперь я вставляю соленоид и не двигаю его, но за-то я замыкаю и размыкаю в нем ток—оказывается, что и при этом возбуждается индуктивный ток; при чем ток наблюдается только в момент замыкания и в момент размыкания. В самом деле, действие замыкания равносильно временному появлению магнитного поля, т. е. как будто мы из очень большой дали вдвинули

При выдергивании направление тока опять изменяется на противоположное. В этом опыте важно относительное движение: не важно, что именно двигается: магнит или катушка. Я держу теперь магнит в руке и быстро надвигаю катушку—получается то же явление, как и при вдвигании магнита.

магнит. Размыкание равносильно выталкиванию магнита. Теперь спрашивается, откуда берется энергия индукционного тока? Ведь этот ток, как и всякий другой, движет стрелку гальванометра, нагревает проволоки и т. д.? Энергия получается за счет работы того тела, которое производит движение, или того источника тока, который дает ток при замыкании и размыкании.

Таким образом, когда я вдвигаю магнит, то наведенный ток оказывается такого направления, что он своим действием препятствует движению; чтобы движение все-таки происходило, надо сделать добавочное усилие, произвести добавочную работу—эта затраченная работа и составляет тот запас энергии, который приобретает индукционный ток. Почувствовать эту работу, вдвигая и выдвигая магнит, нельзя—эта добавочная работа очень мала; но за то явление это можно показать очень наглядным образом с помощью большого электромагнита. Мы заставляем качаться маятник А (рис. 31), имеющий на конце толстую пластинку красной меди, между полюсами электромагнита N, S.

Тока в электромагните пока нет; откачнув маятник, мы видим, что он очень долго качается взад и вперед—затухание его благодаря очень малому трению в подшипниках оси, вокруг которой он вращается, очень мало. Но вот я замыкаю ток в электромагните: маятник сразу останавливается, как вкопанный; я отвожу его в сторону и отпускаю, он опять сразу как бы завязает между полюсами—точно он попал в вязкое тесто. Как же мы объясним это явление? При движении куска красной меди в магнитном поле—в куске меди наводятся токи, но возбуждение тока требует энергии—эта энергия черпается из запаса энергии движения маятника. Таким образом, наведенный ток противится движению, наводящему этот ток.

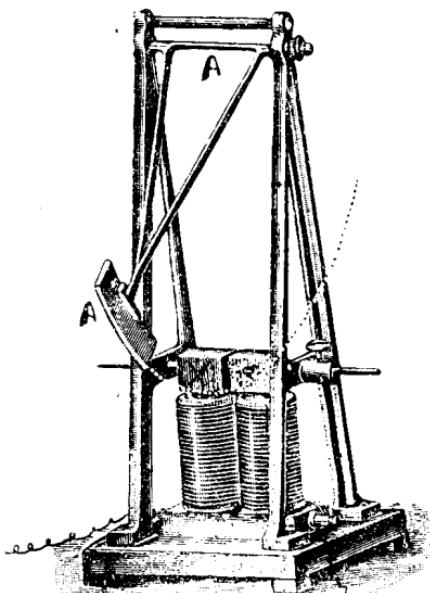


Рис. 31.

В этом состоит так называемый закон Ленца (по имени Академика Петербургской Академии Наук Генриха Ленца. Род. 1804, умер 1865). Заметим, что самая формулировка этого закона отражает диалектический характер изучаемого явления: наведенный ток препятствует наводящему движению. Одно явление, именно движение, вызывает другое, электромагнитное взаимодействие появившегося в движущемся теле тока и магнитного поля; это вновь вызванное явление противодействует первому: оно тормозит движение, служившее источником всего этого сложного клубка явлений, называемого коротко явлением электро-магнитной индукции. Процесс движения вызвал явления, которые отрицают—тормозят это движение. Открытие Фарадеем индукционных токов сыграло громадную роль. Разобраться в этом явлении значит понять основу современной электротехники.

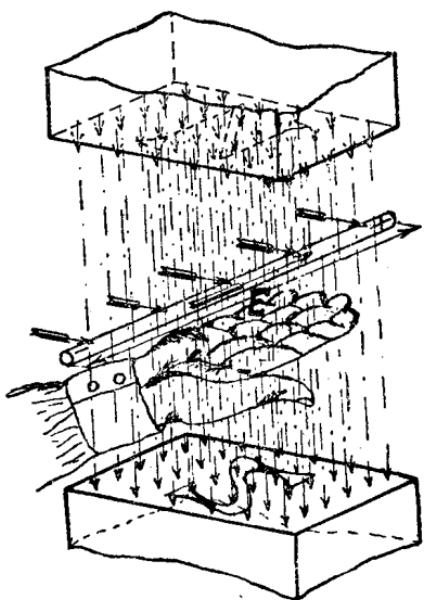


Рис. 32.

Для того, чтобы сразу определить, в каком направлении потечет индуктивный ток при движении проводника, полезно запомнить следующее правило—т. н. правило правой руки (см. рис. 32). Надо повернуть правую руку так, чтобы магнитные линии сил, выходящие из северного полюса магнита, упирались в ладонь; если теперь двигать проводник, расположенный вдоль пальцев руки и лежащий на

нашей ладони по направлению большого пальца, то вызванный этим движением индукционный ток будет направлен к пальцам.

Теперь положим, что между полюсами электромагнита (см. рис. 33) вокруг некоторой оси ОО вращается металлическая рамка по направлению, указанному стрелкой. Если мы применим правило правой руки к частям рамки АВ и CD, то увидим, что направление тока в них противоположное.

Концы рамки MABCDP соединены с двумя частями разрезанного кольца, к которому прижимаются гибкие щетки Q и R. Цепь замыкается через лампочку T. Представим себе, что рамка сделала пол-оборота, тогда CD станет на месте AB и наоборот: направление тока в CD станет такое же, какое на нашем чертеже было в AB, но за то конец провода CD будет теперь прикасаться к щетке Q вместо щетки R, так что во внешней цепи T направление тока остается прежнее. Мы получаем, таким образом, источник тока, дающий нам ток до тех пор, пока вращается рамка ABCD. Конечно, при пере-

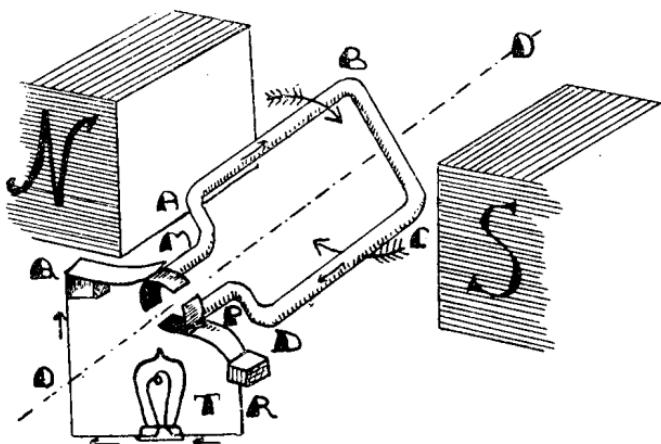


Рис. 33.

скакивании щеток с одного полукольца на другое ток на мгновение прерывается. Для того, чтобы избежать этого, кольцо делят на очень большое число частей и укрепляют на вращающемся барабане большое число рамок, сделанных из большого числа изолированных друг от друга проволок. При этом петли эти соединяются, как между собой, так и с пластинками, на которые разрезано кольцо. Получается довольно сложная конструкция. Но по существу дело остается без изменения, а выяснить принцип действия машины проще на таком примере, каким является рамка, соединенная с разрезанным кольцом (см. рис. 33).

Первые машины, которые начали строить по этому типу, состояли из стальных магнитов, между полюсами которых вращались приспособления, похожие на нашу рамку со щетками Q и R, такие машины назывались „магнитоэлектрическими“; такого рода машины строят и теперь для

автомобилей и двигателей, помещаемых на аэропланах, эти машинки, т. н. „магнето“, служат для поджигания горючей смеси в цилиндре двигателя. В той модели, которую вы видите у нас на столе, мы вместо магнита взяли электромагнит, а ток, идущий от щеток, подвели к гальванометру.

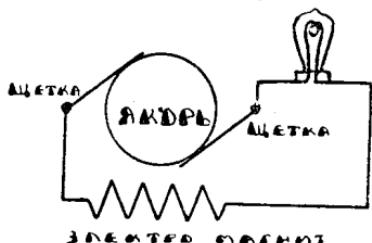


Рис. 34.

Когда я вращаю т. н. якорь, т. е. барабан, на котором намотаны проволоки, концы которых сообщаются с разрезанным кольцом МР—стрелка гальванометра отклоняется. Вы видите, как она по временам вздрагивает—эти моменты совпадают с моментами

размыкания тока при перескакивании щеток с одного полукольца на другое.

Для питания электромагнита мы должны были брать ток из другого источника. Это неудобство было устранено гениальным изобретением Вернера Сименса, которое и носит название принципа динамо-машины.

Если мы сделаем электромагнит из мягкого железа, то, несмотря на быстрое размагничение железа после прекращения тока, в нем все-таки остается некоторое, хотя бы и малое намагничение,—т. н. „остаточный магнетизм“. Этого уже достаточно, чтобы во вращающемся якоре (якорем называется вращающаяся часть—в нашем примере—рамка ABCD с разрезанным кольцом МР) появился слабый индукционный ток. Если мы в цепь проводов, идущих от щеток (см. схему на рис. 34), включим обмотку электромагнитов, то хотя это и будет слабый ток, возбужденный остаточным магнетизмом железа, но он все-таки увеличит намагничение железа, а это вызовет еще более сильный индукционный ток, что в свою очередь увеличит намагничение железа. На практике этот процесс идет очень быстро—через несколько секунд электромагнит намагничен до насыщения, и машина дает нам уже сильный ток. Динамо-машина дает возможность с помощью любого двигателя—ветра, вращающего ветряную мельницу, воды, вращающей мельничное колесо или водяную „турбину“, парового двигателя или, наконец, двигателя внутреннего сгорания, получать электрический ток. Все эти двигатели должны вращать динамо-машину:

чем больше мы затратим на это энергии, тем более сильный индукционный ток мы можем получить.

Преимущество же электро-магнитной энергии заключается в том, что ее гораздо легче, чем какой-либо другой вид энергии, можно передавать и распределять. Лампы, электрические двигатели, а также электрические нагреватели мы можем расставить где угодно, лишь бы у нас хватило достаточно толстой проволоки для проводки. Проволоки должны быть достаточно толстыми, чтобы они не сильно грелись, и чтобы, следовательно, на это нагревание не терять напрасно энергии.

Мы сейчас увидим, что передачу энергии особенно легко осуществить с помощью так наз. переменного тока. Простейший источник переменного тока я вам, собственно говоря, уже показывал сегодня. Если вдвигать и выдвигать магнит в большую катушку, с которой мы производили опыты с индукцией токов, то, как вы видите, стрелка гальванометра, соединенная с катушкой, все время качается вправо и влево: по ней идет переменный ток. „Частоту“ этого переменного тока я могу увеличить, увеличивая движением руки „частоту“ колебания магнита (моя рука, магнит и катушка представляют собой простейший источник переменного тока). Та же самая модель динамо-машины может нам служить источником переменного тока. Мы только на этот раз концы проволочной рамки ABC (рис. 35) подведем не к разрезанному кольцу, а к двум кольцам M и P, изолированным друг от друга, насаженным на одну и ту же ось и касающимся щеток R и Q. Применяя правило правой руки, мы приходим к заключению, что при повороте рамки направление тока в AB и CD будет изменяться; но одновременно с этим будет меняться направление тока во внешней цепи QTR, так как AB все время соединено с щеткой M, а DC все время соединено с R. Мы получаем машину переменного тока. Понятно, что переменным током нельзя питать электромагнит с постоянным расположением полюсов; поэтому наряду с машиной переменного тока необходимо иметь хотя бы маленькую машину постоянного тока для питания электромагнита. При больших машинах или „генераторах“ (производителях) переменного тока часто на той же оси бывает насажена маленькая машинка постоянного тока, пи-

тающая электромагниты машины переменного тока. Все это будто усложняет дело, а кроме того машину переменного тока нельзя употреблять для химических целей, например, для выделения из растворов чистых металлов, и тем не ме-

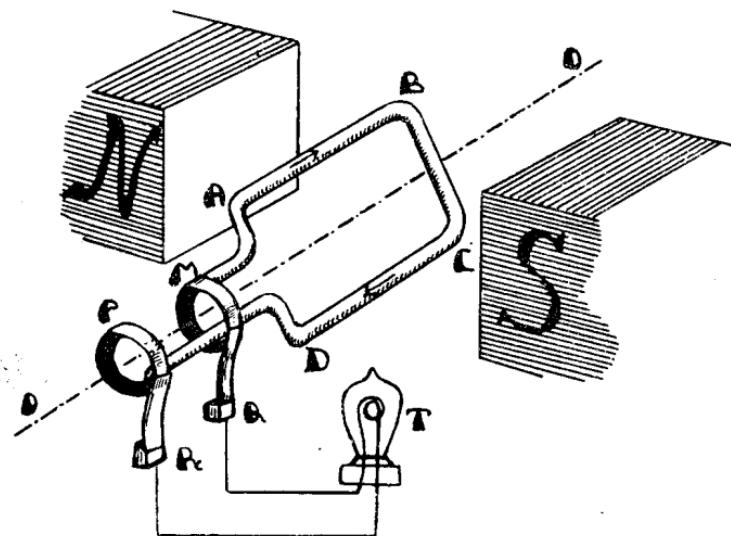


Рис. 35.

нее мы сейчас же увидим, какое громадное преимущество имеет переменный ток перед постоянным. Это преимущество и является основой всей техники будущего—всей будущей электрификации нашей промышленности. Рассмотрим поближе некоторые особенности переменного тока. Вставим в катушку № 1, обмотанную проволокой, другую № 2, содержащую внутри пучек железных проволок, и пустим по ней, т. е. по катушке № 2, переменный ток (см. рис. 36). Что получится в катушке № 1? После того, что мы сегодня видели—ответ ясен: должен получиться переменный ток. В самом деле, когда по катушке № 2, содержащей железо, идет переменный ток, то магнитное поле будет непрерывно меняться: то один ее конец будет северным полюсом электромагнита, то другой, так как соленоид с железом внутри—есть электромагнит. А при замыкании и размыкании тока в том или другом направлении возбуждается и прекращается магнитное поле. Дело происходит так, как будто я все время двигал магнитом. Откуда берется энергия тока в катушке № 1? За счет энергии переменного тока в катушке № 2. Опыт пока-

зывает, что источник переменного тока, питающий катушку № 2, будет тратить больше энергии, если катушка № 1 будет замкнута, и в ней есть ток, чем если она разомкнута, и в ней тока нет. Таким образом, наша двойная катушка представляет собой очень удобный распределитель электромагнитной энергии. Можно так построить катушку № 2 или целый ряд таких катушек, чтобы работающий на нее источник переменного тока тратил мало энергии, пока катушка или катушки № 1 (см. схему рисунка № 36) (если у нас не-

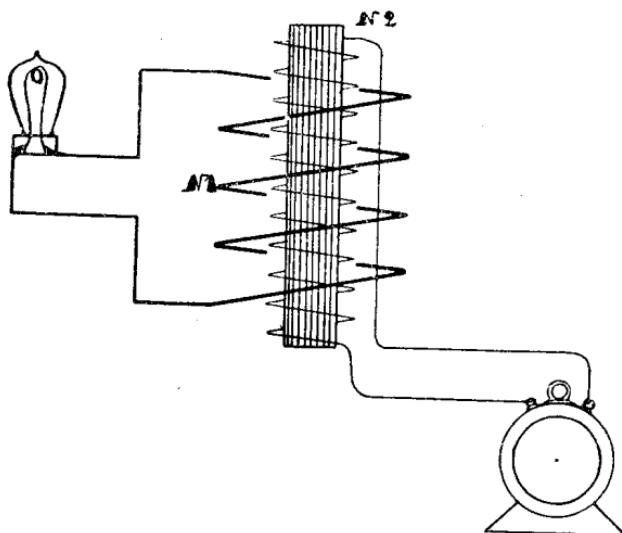


Рис. 36.

сколько таких приборов), незамкнуты, пока из них не берут тока. По мере замыкания катушек № 1 машине, питающей катушки № 2, приходится давать все больше и больше энергии. Машинист, следящий за количеством отпускаемого тока, должен усиливать ход машины динамо-переменного тока, чтобы она могла выработать испрашиваемый у нее ток.

Такие комбинации двух катушек представляют собой т. н. трансформатор.

Уж из сказанного ясно, как легко и удобно можно, использовать переменный ток. Можно по желанию в местах потребления им пользоваться, замыкая ток в катушках № 1. Машинисту же надо только следить за машиной: он может ничего не знать, кто именно и где пользуется током, и его не надо об этом спрашивать. Конечно, цепь должна быть рассчитана так, чтобы не могли запросить больше энергии,

чем в состоянии дать машина. Да и кроме того, в общем ведь наперед известно, когда будет спрос на энергию. В самом деле, известно, что двигатели, приводящие в движение станки, работают днем в рабочее время, а лампы горят по преимуществу вечером; в поздние жеочные часы люди, как правило, спят и тушат огни. Поэтому, если я теоретически и могу зажечь все электрические лампы в своей квартире в яркий солнечный день, в те часы, когда все фабрики работают, но если я человек с нормальным рассудком, то мне все-таки захочется сделать это скорее вечером, а не днем! И потому на электрической станции знают, что днем, как правило, зажигается лишь небольшое число ламп в темных коридорах и помещениях, а если кто и без толку зажжет днем лампу, то это случается крайне редко. Поэтому, казалось бы, неизмеримо разнообразный мир человеческих побуждений—пустить в ход станок, зажечь лампу, вскипятить воду в электрической грелке—приводится в конце концов к очень простой мерке. На электрической станции машинисты знают, что в такой-то час дня такого-то времени года в праздник или в будни „город“ берет такое-то количество энергии.

Но, как мы увидим, преимущество переменного тока не в этом, и постоянный ток можно распределять в пределах небольшого города. Главное преимущество переменного тока в том, что можно гораздо экономнее, без больших потерь и при малой затрате материала, передавать электромагнитную энергию на громадные расстояния. А при распределении энергии можно брать ток какого угодно напряжения, смотря по надобности.

Для этого посмотрим поближе, что происходит в трансформаторе.

Положим, что на катушку трансформатора с т. н. „железным сердечником“, т. е. с пучком железных проволок, вставленных в отверстие вдоль катушки, мы надели проволочное кольцо: в этом кольце наводится индукционный ток. Что это значит? Раз существует ток, должна быть электродвижущая сила; должно быть „напряжение“, которое и вызывает ток. Эту электродвижущую силу называют электродвижущей силой индукции. Если я надену другое кольцо, то и в этом кольце появится такая же электродвижущая

сила. Когда мы соединим оба кольца вместе, разрезав их и соединив одно с другим, то в этих двух оборотах проволоки будет наводиться или „индуктироваться“ удвоенная электродвижущая сила. Таким образом, если на т. н. „первичную“ катушку трансформатора с железом посередине надеть „вторичную“ обмотку в один, два, три, десять и т. д. оборотов, то мы можем получить различную величину электродвижущей силы, различное напряжение. Это также одно из преимуществ переменного тока: положим, у нас расположено в разных местах городской цепи несколько „первичных“ катушек. Мы можем на каждую из них надеть „вторичные“ обмотки с разным числом оборотов и получить в одном месте ток высокого напряжения, а в другом одновременно же ток низкого напряжения. Сила тока во вторичной цепи будет зависеть от сопротивления этой цепи. Так, если мы возьмем в трансформаторе в качестве вторичной обмотки полое кольцо с толстыми стенками из красной меди и нальем в него воды, то несмотря на небольшую величину электродвижущей силы индукции—всего только в одном обороте, мы получим настолько сильный ток, что вода в кольце закипит, и образовавшиеся пары вытолкнут пробку, закрывающую отверстие. Теперь мы берем катушку с более значительным числом оборотов изолированной медной проволоки, концы которой соединены с небольшой лампой накаливания. Я надвигаю эту катушку на первичную обмотку нашего трансформатора, в которуюпущен городской ток. Вы видите, лампочка вспыхивает. Если я катушку не полностью надвигаю на железный сердечник, то лампа горит тускло.

Вспомним теперь, как определяется работа тока в каком-либо участке цепи. Работа эта—if мы ее отнесем к единице времени—определяется произведением напряжения на силу тока. Пусть напряжение на первичной обмотке, в данном случае напряжение городского тока у нас здесь в аудитории равно V_1 , а сила тока в первичной обмотке I_1 , тогда $V_1 I_1$ представляет работу, которая затрачивается в единицу времени в первичной обмотке. Если трансформатор хорошо устроен, то очень малая доля этой работы идет на нагревание первичной обмотки, и почти вся эта работа до 90% и больше идет на работу, которую производит напряжение V_2 вторичной обмотки, вызывающее ток силы I_2 , скажем в лампах,

питаемых этой вторичной обмоткой. Эта работа, получаемая от вторичной обмотки $V_2 I_2$, только немного меньше (в хороших трансформаторах, конечно) работы $V_1 I_1$, затраченной в первичной обмотке, поэтому можно для приблизительного расчета положить $V_1 I_1 = V_2 I_2$.

Чтобы к первичной обмотке можно было приложить большое напряжение, не вызвав в ней очень большого тока, надо брать большое число оборотов в этой катушке и достаточно большое сопротивление. Чтобы получить малое напряжение и большой силы ток во вторичной обмотке, как мы видели, надо взять небольшое число оборотов, но толстой проволоки. Если произведение $V_1 I_1$ все время остается приблизительно равным $V_2 I_2$, а напряжения V_1 и V_2 различны, то очевидно, что силы токов I_1 и I_2 должны быть обратны величинам V_1 и V_2 , т. е. там, где напряжение велико, сила тока мала и наоборот, хотя работа, производимая в единицу времени, и в том и в другом случае одинакова. Таким образом, если мы увеличим напряжение V_2 , сохранив величину произведения $V_2 I_2$ неизменной, то мы тем самым уменьшаем силу тока I_2 , а чем меньше сила тока, тем меньше выделение тепла в проводе.

Произведем сейчас следующий опыт. Переменный ток от городской цепи в 120 вольт мы присоединяем к первичной обмотке трансформатора S_1 (см. рис. 37) с небольшим сравнительно числом оборотов толстой медной проволоки. Внутрь этой обмотки вставлен пучек железных проволок — для усиления магнитного поля — так как поле будет вызвано не только самой первичной обмоткой, но и намагниченным железом. Вторичная обмотка этого трансформатора S_1 состоит из очень большого числа оборотов тонкой проволоки; напряжение на концах этой обмотки будет в несколько тысяч вольт. От этой обмотки, как вы видите, по стеклянным трубкам, укрепленным на подставках, сделана проводка поперек всей аудитории.

Во время опыта я прошу всех товарищай сидеть на месте и не подходить к проводке, так как высокое напряжение представляет большую опасность. Вы видите, что провода у нас взяты очень тонкие, их, я думаю, почти не видно, даже с ближайших скамеек. Концы этой проводки подведены к вторичной обмотке такого же трансформатора S_2 , состоящей из очень большого числа оборотов тон-

кой проволоки. Первичная же обмотка P_2 соединена толстыми медными проводами с куском толстой железной проволоки F. Я замыкаю ток в первичной обмотке первого трансформатора. Первый трансформатор превращает довольно сильный ток сравнительно невысокого напряжения в ток очень малой силы, не нагревающий даже тонких проводов нашей проводки, но за то этот ток имеет большое напряжение и потому произведение $V_2 I_2$ значительно. Следовательно, несмотря на тонкие провода, у нас передается значительная работа—значительная энергия. Второй трансформатор превращает эту энергию в энергию тока большой силы, но слабого напряжения, и вы видите, что этот ток расплавляет толстую железную проволоку, а энергию этого тока мы передали без значительных потерь на нагревание по тончайшим проводам! Этот опыт наглядно показывает нам, какое преимущество имеет переменный ток. Только путем преобразования с помощью трансформаторов можно без больших потерь передавать громадные количества энергии на большие расстояния. Это преобразование тока и делает возможным электрификацию, которая немыслима без передачи энергии на большое расстояние. Таким образом, чтобы осуществить передачу электро-магнитной энергии, надо в том месте, где есть дешевая движущая сила, вырабатывать переменный ток, преобразовать его в ток очень высокого напряжения и в таком виде по сравнительно тонким и сравнительно не дорогостоящим проводам передавать ток на большие расстояния,

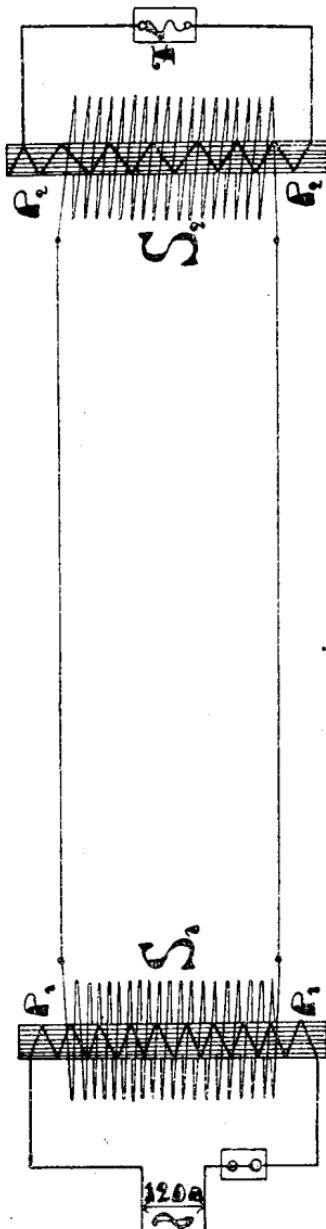


Рис. 37.

где его необходимо вновь „трансформировать“, чтобы вводить в жилые помещения ток низкого напряжения, не представляющий опасности.

Для того, чтобы уяснить с количественной стороны, что все это значит, сделаем маленький расчет. Пусть нам надо передавать на 100 метров (десятая часть километра) один килоуатт, т. е. пусть $V \cdot I = 1000$, пусть мы разрешаем потерю в 1% на нагревание. Тогда Джоулемо тепло должно $= RI^2 = 10$ уатт. Вопрос сводится к тому, какое мы возьмем напряжение. Попробуем сначала взять $V = 100$ вольт, тогда из формулы $V \cdot I = 1000$, где вместо V подставляем 100, получим $I = 10$. Вставляем в формулу Джоулемо тепла RI^2 , $I = 10$. Получаем $R \cdot 100 = 10$, откуда $R = 0,1$ ома. Чтобы во всей проводке на 100 метров, следовательно, туда и обратно 200, было 0,1 ома, надо взять проволоку в 36 квадратных миллиметров сечением. В самом деле, 1 метр медной проволоки в 1 миллиметр имеет сопротивление в 0,018 ома; 200 метров такой проволоки будут иметь сопротивление 3,6 ома. Чтобы получить 0,1, надо в 36 раз взять большее сечение.

Теперь сделаем другое предположение: вместо напряжения в 100 вольт, возьмем 1000 вольт, тогда из $V \cdot I = 1000$ получаем $I = 1$ амперу. Предполагая ту же потерю в 1% , мы будем иметь $RI^2 = 10$, при $I^2 = 1$ получаем $R = 10$, т. е. сопротивление может быть в 100 раз меньшим: можно взять в сто раз меньшее сечение, около $1/3$ квадратного миллиметра. Этот расчет показывает, насколько мы выигрываем в материале проводки при повышении напряжения. Конечно, все сказанное здесь имеет силу и для постоянного тока, но вся беда в том, что у постоянного тока нельзя преобразовать напряжение. Таким образом, если мы сделали проводку высокого напряжения для постоянного тока, то этим же напряжением и придется пользоваться в местах потребления электромагнитной энергии.

ПРИМЕЧАНИЕ: При переменном токе, сила и напряжение которого непрерывно меняется, под I и V разумеются некоторые средние значения напряжения и силы тока—т. н. „эффективные значения“. Работа выражается произведением $I \cdot V$ только в том случае, если

в цепи включены электрические лампы; при включении моторов и электромагнитов переменного тока в цепь, работа выражается произведением $I \cdot V$ на некоторый множитель, который меньше единицы. Входить в рассмотрение этого вопроса мы, однако, не можем за недостатком времени.

ЛЕКЦИЯ ПЯТАЯ.

СОДЕРЖАНИЕ.

Теория электронов. Электрические заряды положительные и отрицательные. Взаимодействие зарядов. Электризация через влияние. Объяснение электризации через влияние. Электроны. Опыты Тольмана. Конденсатор. Заряжение конденсатора гальваническим элементом. Опыт Эйнштейна и Де-Гааза. Явление Голла. Действие гальванического элемента.

До сих пор мы изучали электро-магнитные явления, как основу электротехники. Мы знакомились с важнейшими законами электро-магнитных явлений и пытались сейчас же показать, как эти законы используются на практике. Мы только один раз отвлеклись в сторону теории. Это было тогда, когда мы изучали магнитное и электро-магнитное поле. Мы остановились тогда на теоретических взглядах Фарадея, но опять непосредственная практическая польза этой теории Фарадея была нам тогда почти сразу ясна.

Сегодня мы приступаем к изложению основ современной теории электро-магнитных явлений — т. н. теории электронов.

То, что мы уже познакомились с большим числом фактов, позволит нам правильно подойти к этой теории; в том смысле правильно, что эта теория теперь не покажется нам оторванной от фактов, она не покажется нам плодом фантазии тех или других ученых, но она как бы сама будет навязываться нашему уму, как теми фактами, с которыми мы уже знакомы, так и теми, с которыми мы будем по-путно знакомиться, в самом процессе изучения теории электронов.

Поэтому та картина, которую мы получим из нашего обзора, не будет иметь ничего общего с теми попытками изобразить электронную теорию, как полное крушение материализма. А подобного рода попытки мы часто встречаем в научной и особенно в полупопулярной литературе на всем земном шаре. В этой литературе сплошь и рядом электронная теория изображается совершенно оторванной от фактов, при чем излагается она обыкновенно так, что совершенно непонятно, откуда она могла возникнуть, и какую она приносит пользу в деле изучения окружающего нас мира. Так как эта—по существу—безнадежная борьба против материализма, которую ведут философы идеалисты, будто бы при поддержке современной науки, может очень многих сбить с толку, нам придется обратить особенное внимание на эту сторону.

Мы уже не раз пользовались для истолкования явлений электрического тока — картиной текущей по трубе воды. Если явления электрического тока так похожи на движение воды в трубе, то не движется ли в самом деле что-нибудь вдоль проволоки, по которой идет электрический ток? На этот вопрос физика давно уже дала ответ: по проволоке движутся электрические заряды. А эти электрические заряды получаются в любом источнике электричества: их можно также получить путем трения двух тел друг о друга. Это, заметим мимоходом, самый древний способ получения электрического заряда. Я беру палочку эbonита и натираю ее мехом — палочка, как говорят, заряжается электричеством, на ней появляются „заряды“, это выражается между прочим тем, что эта палочка притягивает легкие предметы: бумажки, кусочки, сделанные из бузинной сердцевины и т. д. Точно также натертое куском кожи, смазанной амальгамой¹⁾ стекло оказывается заряженным. Если мы коснемся бумажных гильз, висящих на шелковинках (шелк — не проводник электрического тока), заряженной или „наэлектризованной“ стеклянной палочкой, то притянувшиеся гильзы начинают после прикосновения сейчас же отталкиваться, как от палочки, так и друг от друга (см. рис. 38). Я проделываю то же самое с эbonитовой палочкой (эbonит — твердый каучук — твердая резина) и с другими гильзами. Далее, если мы поднесем натертую стеклянную

¹⁾ Амальгамой называется соединение металла со ртутью, правильнее сплав.

палочку к тем гильзам, которые только что перед тем касались эbonитовой палочки и оттолкнулись от нее, то мы сейчас же заметим сильное притяжение, и точно также—if поднести эbonитовую палочку к гильзам, коснувшимся раньше стеклянной палочки, то наблюдается притяжение. Все это дает повод утверждать, что существует два рода

электрических зарядов—два рода электричества, прежде их называли электричество „стеклянное“ и электричество „смоляное“; теперь же мы их называем электричеством положительным и электричеством отрицательным. Эти электрические заряды обладают, как мы сейчас видели, следующей особенностью: одноименные электричества отталкивают друг друга; положительный заряд гильзы, сообщенный ей стеклянной палочкой, отталкивался от стеклянной палочки, и наоборот—разноименные электричества притягиваются. На явлении отталкивания основан способ определять, есть ли у нас вообще электричество в данном теле или нет. Действительно, когда я касаюсь натертой палочкой двух бумажных гильз, то заряды палочки, отталкивающиеся друг от друга, переходят на гильзы, где их еще не было, а тогда гильзы начинают отталкивать друг друга. На основании этого отталкивания мы можем узнать, было ли заряжено тело, которым мы коснулись этих гильз, или нет. Такие две гильзы, висящие на непроводящих нитках или на проводящих нитках, укрепленных на непроводящей подставке, носят название „электроскопа“, т.-е. прибора, позволяющего определить, есть ли у нас электрический заряд или нет. Непроводящая подставка нужна для того, чтобы через посредство проводников электрические заряды, подчиняясь силам отталкивания, не разбежались бы по этим проводникам на весь земной шар, являющийся проводником электричества.

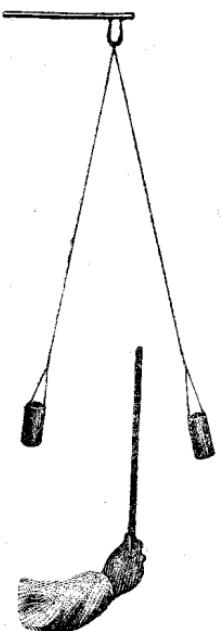


Рис. 38.

У нас здесь имеются на столе два больших электроскопа, при помощи которых мы произведем сейчас ряд опытов. Электроскопы эти устроены (рис. 39) из металличес-

ского стержня qq , на котором укреплена ось алюминиевой стрелки pp ; стержень с укрепленной на ней стрелкой „изолирован“ от коробки E , в которой они помещены, при помощи непроводящей пробки из эбонита. Если коснуться палочкой проводника A , прикрепленного к концу стержня, то стрелка, как вы видите, отталкивается от стержня qq . Теперь я с помощью проволоки, укрепленной на непроводящей стеклянной рукоятке, соединяю заряженный электроскоп B с незаряженным A (см. рис. 40). Вы видите, что незаряженный заряжается (рис. 40): его стрелка отклоняется, а у заряженного—заряд убавляется; его стрелка придвигается

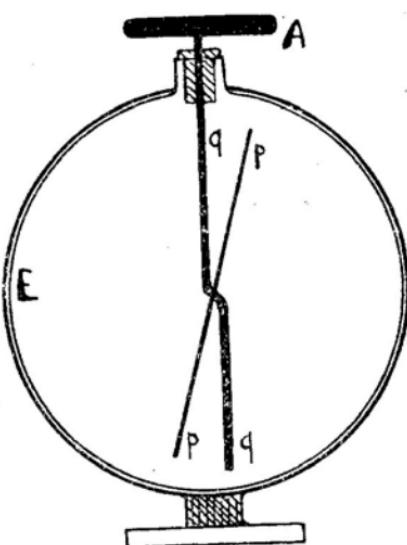


Рис. 39.

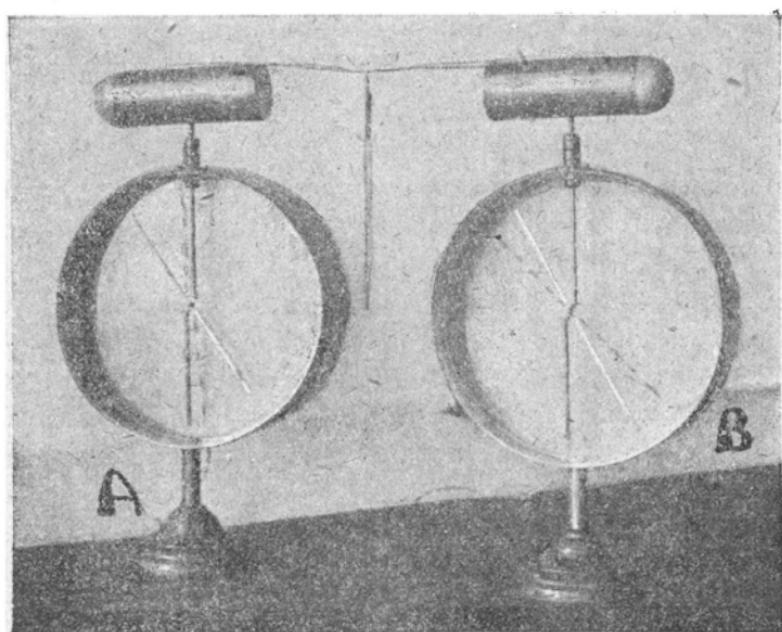


Рис. 40.

ближе к стержню qq (см. рис. 39 и 40). Это показывает, что электрический заряд есть нечто такое, чего может быть и

больше и меньше. Или, как говорят математики, электрический заряд есть „величина“.

В данном случае заряд, бывший на одном электроскопе, распределился поровну на две части; при чем одна часть заряда с первого электроскопа ушла на второй. Если я дотронусь пальцем до стержня любого электроскопа или до соединяющей оба электроскопа проволоки, то заряды исчезают, стрелки спадаются. Это показывает, что заряды распространялись через мое тело на все проводники этой комнаты и на земной шар: я „отвел заряд в землю“. Теперь зарядим один электроскоп стеклянной палочкой, другой—эбонитовой, но так, чтобы в обоих случаях отклонение стрелок было одинаковое, и соединим их опять проволокой, держась опять рукой за стеклянную ручку, приделанную к проволоке. Обе стрелки возвращаются к своим стержням; никакого заряда больше нет; положительное электричество и отрицательное производят, как мы видели, противоположное действие на любой заряд: одно отталкивает заряженную гильзу, другое притягивает, кроме того они притягивают друг друга. Этот опыт оправдывает наше обозначение: положительное и отрицательное электричество. Если мы имеем равное количество того и другого, то, когда они соединятся вместе—их действия взаимно уничтожаются.

Так же точно, как три шага вверх по лестнице производят противоположное действие трем шагам вниз: тот, кто сделал три шага вверх и три шага вниз, остался на прежнем месте.

Теперь сделаем следующий опыт: к соединенным проволокой электроскопам приблизим стеклянную палочку, не прикасаясь, однако, к электроскопам (рис. 41). Мы видим—оба электроскопа зарядились. Я удаляю палочку, заряды исчезают. После опыта с положительным и отрицательным электричеством на двух электроскопах мы можем сделать предположение, что при приближении заряженной палочки на одном из них получился положительный заряд, на другом—отрицательный.

Мы можем это проверить. Повторяем опыт, но только теперь, не удаляя заряженной палочки, снимем, взявшись за стеклянную ручку L, соединяющую оба электроскопа, проволоку ММ. Теперь отодвигаем натертую палочку прочь. Вы видите, оба заряда остались (см. рис. 42). Приближая к ним

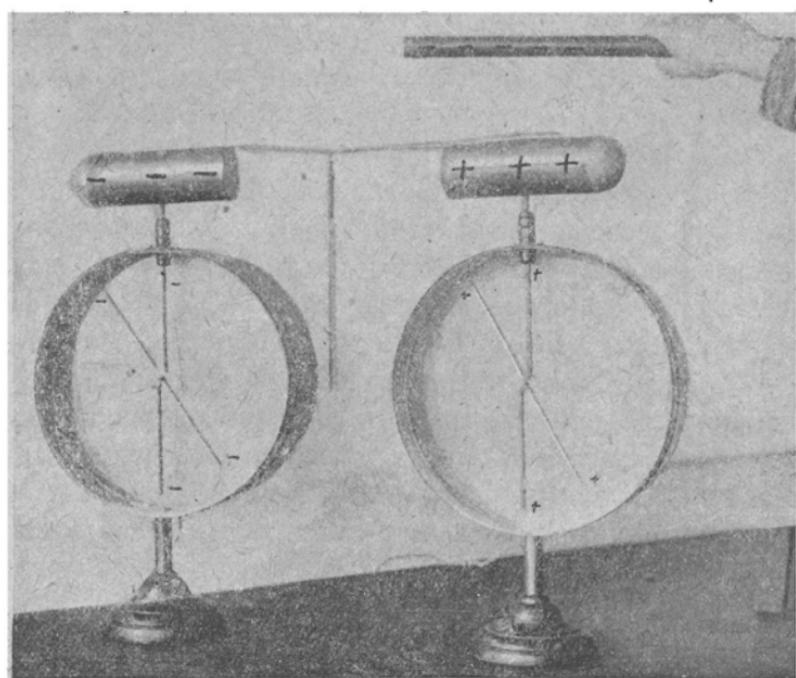


Рис. 41.

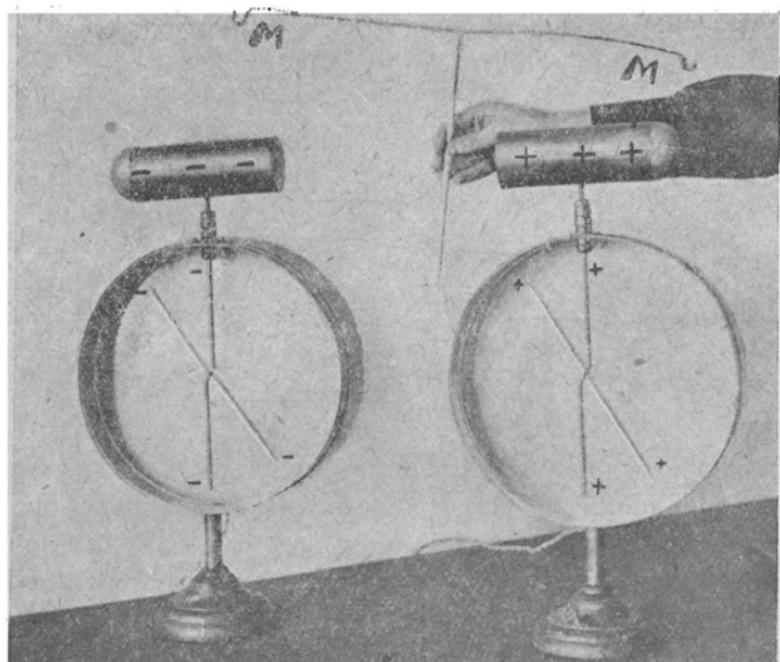


Рис. 42.

заряженные положительным и отрицательным электричеством бумажные гильзы, висящие на шелковинках, можно показать, что ближайший к натертой стеклянной палочке электроскоп заряжен отрицательно, дальний — положительно.

Соединяем теперь их оба вместе проволокой, заряды пропадают. Итак, наше предположение, что при одном только приближении заряженного тела на электроскопах появились противоположные электрические заряды, оправдалось. Теперь приблизим опять натертую стеклянную палочку к электроскопам, соединенным друг с другом металлическим проводом ММ, но при этом коснемся пальцем в любом месте этого проводника ММ или проводников, связанных с электроскопами.

Уберем сначала палец, а потом отодвинем заряженную палочку. Оба электроскопа оказываются заряженными, но теперь уже одинаковым электричеством и противоположным электричеству приближаемой заряженной палочки — в данном случае отрицательным.

Все эти случаи электризации без соприкосновения с наэлектризованным телом называются „*электризацией через влияние*“. Посмотрим, как можно объяснить это явление. Положим, что во всяком теле, в том числе и том, где происходит *влияние*, находится поровну того и другого электричества.

Когда мы приближаем положительно заряженное тело, то положительное электричество, находящееся в незаряженном теле, над которым производится влияние, „оттолкнется

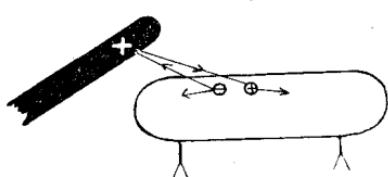


Рис. 43.

в самую дальнюю часть,—отрицательное же, наоборот, соберется в наиболее близкой к заряженному телу части (рис. 43). Если мы удаляем проволоку, соединяющую оба электроскопа, то мы, так сказать, закрепляем это разделение;

иначе, при удалении влияющего тела, электричества вновь соединяются через посредство этой проволоки, так как они ведь друг друга притягивают. Если мы во время самого влияния касаемся пальцем, то одноименное электричество уходит в землю; электричество же противоположного знака удерживается притяжением влияющего тела и потому не уходит через палец. Вот почему раньше надо убрать

палец, а потом уже влияющее тело, если мы хотим сохранить заряд противоположного знака. Иначе, когда мы отодвинем влияющее тело, оставшийся заряд, не удерживающийся притяжением этого влияющего тела, уйдет также в землю. Теперь, после всего, что мы рассмотрели, посмотрим, как можно объяснить другой факт, который мы сегодня наблюдали. Мы зарядили сначала один электроскоп положительным электричеством—пусть величина заряда равняется e —и соединили его с незаряженным, заряд, как мы видели, распределился поровну между электроскопами. На том и на другом оказалось $+\frac{e}{2}$.

Как можно себе представить этот переход? После сказанного не трудно сообразить, что этот переход может осуществиться тремя способами, которые у нас схематически изображены на таблице.

Первый способ.

Стадия опыта.	Первый электроскоп.	Второй электроскоп.
Заряды в начале опыта	$+e$	о
Процесс передачи	$+\frac{e}{2}$	передается по проволоке второму электроскопу
После опыта заряд	$+\frac{e}{2}$	$+\frac{e}{2}$

Второй способ.

Стадия опыта.	Первый электроскоп.	Второй электроскоп.
Заряд в начале опыта	$+e$	о
Процесс передачи:	во втором проводнике благодаря влиянию разделяются заряды $-\frac{e}{2} + \frac{e}{2}$, из которых $-\frac{e}{2}$ идет по проволоке к первому электроскопу и вместе с зарядом $+e$ дает $+\frac{e}{2}$.	
После опыта заряд	$+\frac{e}{2}$	$+\frac{e}{2}$

Третий способ.

Стадия опыта.	Первый электроскоп.	Второй электроскоп.
До опыта заряд	+ e	0
Процесс передачи:	от первого ко второму по проволоке передвигается $+\frac{e}{4}$.	На втором через влияние разделяются заряды $+\frac{e}{4} - \frac{e}{4}$, при чем $-\frac{e}{4}$ идет от второго к первому.
После опыта	$+\frac{e}{2}$	$+\frac{e}{2}$

Итак, осуществить переход заряда с одного тела на другое можно следующими тремя способами:

- I. { по проволоке переходит из первого электроскопа во второй $+\frac{e}{2}$
- II. по проволоке переходит из второго $-\frac{e}{2}$ в первый
- III. { по проволоке переходит из первого $+\frac{e}{4}$ во второй и одновременно:
по проволоке переходит из второго в первый $-\frac{e}{4}$.

Результат один и тот же: электричество распределилось поровну между обоими электроскопами. Если мы ограничимся рассмотренными фактами, то выбора между этими тремя теориями сделать нельзя.

Однако в 1916 году Тольман и Стюарт сделали один опыт, который с несомненностью показывает, что в металлических проводниках, строго говоря, применима только вторая из изложенных нами теорий, т. е., что в металле происходит передача электрических зарядов по II из изложенных нами способов. Этот опыт, который мы сейчас разберем, является одной из самых могучих опор современной теории электронов. Опыт Тольмана состоит в следующем: на большой цилиндр с вертикальной осью вращения 00 (см. рис. 44)

навита изолированная проволока, концы ее присоединены к гибкому шнуру, идущему к очень чувствительному гальванометру G. Гибкий шнур позволяет вращать цилиндр вокруг оси, несмотря на связь с гальванометром. Если цилиндр вращается равномерно, никакого тока гальванометр не обнаруживает, но если быстро затормозить цилиндр, то в момент торможения гальванометр обнаруживает ток. Как мы объясним этот факт? Представьте себе пассажиров, стоящих в проходе вагона, и поезд вдруг затормозился. По инерции стоящие в проходе пассажиры будут некоторое время удер-живать ту скорость, с которой двигался поезд и они сами до торможения. Чтобы не упасть, они должны будут пробежать несколько шагов вперед в сторону движения. То же самое происходит с отрицательными зарядами или „электронами“, как их теперь называют.

Если бы и положительные заряды могли двигаться так же свободно по проволоке, то по инерции побежали бы и те и другие, и тока не получилось бы, так как действие положительного электричества уничтожает действие отрицательного. Направление же тока, обнаруживаемого гальванометром G, свидетельствует, что ток вызван движением отрицательных зарядов, т. е. электронов, в ту сторону, в которую двигалась заторможенная проволока. Таким образом, по проволоке на сколько-нибудь значительное расстояние могут двигаться только отрицательные заряды. Но этого мало. Если человек, стоящий в проходе вагона, обладает большой массой, то, чтобы ему не упасть при внезапной остановке, он должен пробежать дальше, чем его более тощий сосед. Отсюда по величине смещения электронов — а это отражается на силе тока — можно судить о массе заряда. Опыт показывает, что масса зарядов одна и та же во всех металлах, из которых были сделаны проволоки, намотанные на цилиндры, и равняется приблизительно одной двухтысячной доле массы атома водорода. Итак, вы видите, что существование электронов доказывается весьма убедительными опытами.

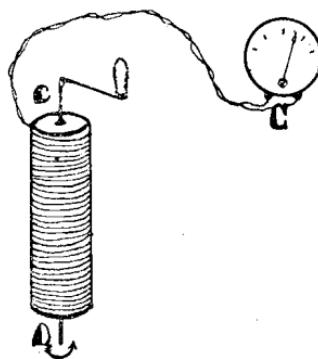


Рис. 44.

Но у вас, товарищи, быть может, уже готово одно возражение: разве можно утверждать, что в цепи гальванического элемента при прохождении тока или в цепи с гальванометром в опыте Тольмана движутся те же самые отрицательные заряды—те же электроны, которые мы получаем, натирая эbonитовую или сургучную палочку мехом или сукном? Этот вопрос ставили себе ученые в первой половине XIX века; поставил его себе и Фарадей, и он решил его в окончательном виде путем целого ряда остроумнейших опытов. Мы не можем позволить себе роскоши повторить хотя бы и десятую часть его опытов, но, чтобы у вас не оставалось никаких сомнений, мы проделаем один опыт, который нам поможет устраниТЬ эти вполне законные сомнения. Мы попытаемся зарядить электроскоп от гальванического элемента. При обычных условиях гальванический элемент не может зарядить даже самого чувствительного электроскопа; ведь для того, чтобы электроскоп показал, скажем, отрицательный заряд, надо, чтобы на нем сосредоточилось значительное количество электронов, а это можно получить так: постепенно вводить в электроскоп электроны один за другим, а ведь мы знаем, что электроны друг другом отталкиваются, поэтому каждую новую порцию электронов надо как бы вталкивать в электроскоп, преодолевая отталкивание электронов, уже находящихся на электроскопе, а

для этого источник, снабжающий электронами, должен их выталкивать с большой силой: он должен обладать большой электродвижущей силой, чего нет у гальванического элемента. Обойти это затруднение мы можем, присоединив к электроскопу т. н. конденсатор, что в переводе значит „сгуститель“. Устроен он так: к проводнику электроскопа Е

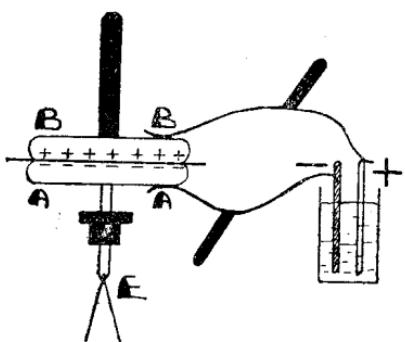


Рис. 45.

(рис. 45) прикреплена полированная латунная пластинка А, покрытая с верхней стороны непроводящим электричества лаком; на нее накладывается другая такая же пластинка В, покрытая с нижней стороны также лаком; пластинка В снаб-

жена стеклянной ручкой. Провода от гальванического элемента подводятся к пластинкам А и В. Положим, что к А подведен отрицательный полюс, а к В положительный. Тогда в А будут накачиваться электроны,—из В они будут выкачиваться. В будет заряжаться, следовательно, положительным электричеством. Положительное электричество в В будет в значительной степени ослаблять отталкивание отрицательных зарядов, находящихся уже в А, так что теперь гораздо легче „накачивать“ электроны в А. Разъединим теперь пластиинки А и В с гальваническим элементом, отстранив провода при помощи стеклянных ручек. Возьмем за стеклянную ручку диск В и снимем его. Теперь электроны в А не будут уже удерживаться прилежащими к ним положительными зарядами пластиинки В: они распределятся по всем проводникам, в том числе и по листочкам электроскопа. Вы видите: получается вполне заметное отклонение листочек. Этот заряд можно исследовать обычным способом и показать, что отрицательный полюс элемента действительно „заряжает“ электроскоп отрицательным электричеством, положительный—положительным. Действие конденсатора можно видеть еще и в следующем опыте. К нам на стол подведен городской переменный ток в 120 вольт и постоянный на такое же число вольт. Я подвожу один из проводов той или другой цепи к

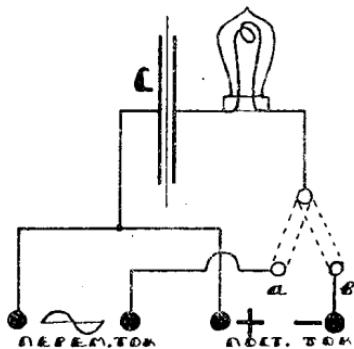


Рис. 46.

обыкновенной лампе накаливания, другой провод от лампы накаливания подводится (см. рис. 46) к конденсатору С, состоящему из тонких листов олова, разделенных пропитанной парафином бумагой; к второй пластиинке конденсатора присоединяют и в той и другой цепи вторые провода, подводящие напряжение. Вы видите, что лампа в цепи переменного тока ярко горит, хотя цепь и разомкнута: парафинированная бумага не пропускает тока. В цепи с постоянным током лампа не горит. Это объясняется тем, что постоянный ток только в момент замыкания посыпает известное количество электронов через лампу в процессе заряжения конденсатора. Когда же конденсатор зарядится, ток пре-

кращается. В цепи же переменного тока „обкладки“ конденсатора все время перезаряжаются: в каждую пластинку по числу перемен тока то накачиваются, то выкачиваются электроны. При большом размере пластинок конденсатора и при малом расстоянии между ними в конденсатор можно много накачать электронов и много выкачать, поэтому токи заряжения и токи разряжения могут быть достаточно велики и могут поддерживать горение лампы.

Остановим еще наше внимание на одном замечательном опыте, впервые выполненном Эйнштейном в сотрудничестве с Де-Гаазом в 1916 году. Этот опыт дает блестящее подтверждение не только электронной теории, но и нашим взглядам на природу магнитных явлений. Мы видели, что можно получить полное подобие магнита с помощью электрического тока, и кроме того—мы также на основании опытов знаем, что каждая мельчайшая частица магнитного вещества, например, железа, никеля или стали, должна быть магнитом. Электронная теория дает такую картину: в каждой молекуле магнитного вещества имеется хоть один электрон, который вращается вокруг нее на подобие спутника планеты. Такой движущийся по замкнутому пути электрический заряд производит магнитное действие, такое же, как один оборот проволоки соленоида, по которому пущен ток. Если вещество не намагничено, то пути электронов имеют самое разнобразное направление: плоскости, в которых лежит замкнутый путь такого электрона—„спутника“, у разных молекул расположены по всем направлениям без какого-либо определенного порядка. Когда же мы намагничиваем это вещество, то плоскости, в которых происходит движение электронов, все поворачиваются. Ведь все обороты свободно висящего соленоида при приближении магнита согласно поворачиваются и становятся так, что плоскости, в которых лежат обороты проволоки, стремятся стать под прямым углом к направлению внешнего магнитного поля. Представим себе, что мы железнную проволоку АВ (рис. 47), снабженную зеркальцем, чтобы легко было следить за ее поворотами, подвесили, как указано на рис. 47, на тонкой проволоке и намагничиваем так, что направление магнитного поля (от северного полюса намагничивающего магнита или электромагнита к южному) совпадает со стрелкой, идущей на рисунке снизу вверх. Тогда намагниченная проволока будет иметь в верхней части северный полюс.

Если бы это была не проволока, а соленоид, обтекаемый током, то он должен был бы стать так, что, глядя на него сверху, мы видели бы направление движения положительного электричества против часовой стрелки. Но ведь по электронной теории, в согласии с опытами Тольмана, в металлах движется не положительное, а отрицательное электричество и в прямо противоположную сторону.

Будем теперь смотреть на намагниченую проволоку сверху; если бы мы могли видеть движение электронов, нам процесс намагничения должен был бы представиться следующим образом: сначала электроны двигались, как попало; после намагничения они все начали двигаться *по стрелке часов*.

Механика показывает, что это должно иметь следствием поворот всей проволоки в целом *против стрелки часов*, и отраженный зеркальцем С пучек света переместится из S' к S'' . Это явление как раз и наблюдали Эйнштейн и Де-Гааз. Объяснить, почему этот поворот должен получиться, будет трудно, но за то я вам на опыте покажу, что это именно происходит так. Я становлюсь на скамейку, которая очень легко может поворачиваться вокруг вертикальной оси, и беру в руки довольно массивный волчок, при чем ось волчка горизонтальна. Я поворачиваю волчок так, что ось его становится вертикальной; это значит, что если кто-нибудь будет смотреть на меня сверху с потолка, то он увидит вращение волчка в ту или другую сторону, т.-е. плоскость, в которой двигаются по кругу части волчка, расположится по отношению к оси вращения скамейки так, как должны при намагничивании расположиться плоскости, в которых движутся электроны. Вы видите, что при повороте оси волчка я сам поворачиваюсь в противоположную сторону, т.-е. в сторону, противоположную вращению волчка, т.-е. точь в точь, как проволока в опыте Эйнштейна!

Далее, если я возьму менее массивный волчок, то поворот моего тела будет меньше. Отсюда ясно, что по величине поворота проволоки можно судить о массе электронов.

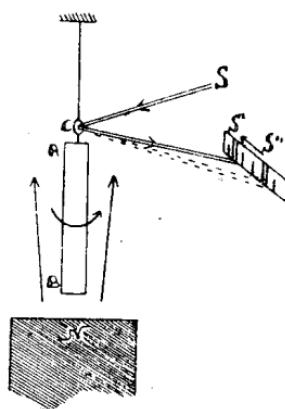


Рис. 47.

Расчет показывает и в этом случае так же, как и в опыте Тольмана, что электроны имеют массу приблизительно в 2000 раз меньшую, чем самый легкий из атомов—атом водорода!

Итак, мы имеем очень веское доказательство, что не только электроны существуют, как нечто материальное, как нечто существующее в пространстве и во времени, независимо от нашего сознания, но что магнитные явления обусловлены движениями этих электронов по замкнутым путям вокруг отдельных молекул, а быть может, вокруг атомов, составляющих эти молекулы.

Как объясним мы с точки зрения электронной теории нагревание, вызванное электрическим током? Мы обясняли опыт Тольмана сравнением электронов с пассажирами, стоящими в проходе вагона.

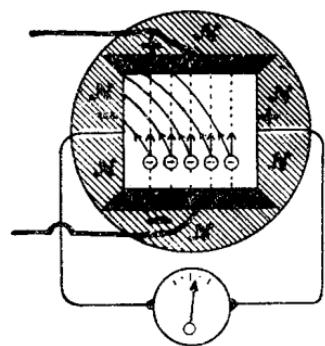


Рис. 48.

А что будет, если при торможении поезда пассажиры стоят между скамейками. Ясно, они должны удариться о скамейки. Когда электроны движутся в металле при электрическом токе, то они не всегда попадают в промежутки между атомами: они очень часто будут налетать на атомы и сообщать им толчки; они будут раскачивать своими ударами атомы.

А ведь движение атомов есть тепло. Таким образом, получается очень наглядная картина процесса выделения Джоулем тепла.

Рассмотрим теперь еще следующий случай. Пусть через тонкую металлическую пластинку (см. рис. 48) пропускают ток таким образом, что электроны должны двигаться по направлениям стрелок, как указано на чертеже. Если мы на равных расстояниях от электродов, подводящих ток, поместим два провода замкнутой цепи с гальванометром, то гальванометр не покажет тока, так как и к тому и к другому концу цепи, идущей от гальванометра, будут подаваться в одинаковом количестве электроны. Теперь положим, что мы пластинку с проводами поместили в магнитное поле, при чем пусть северный полюс лежит за плоскостью чертежа, а южный спереди. Мы знаем, что ток отклоняется магнитом; следовательно, пути электро-

нов искривятся, их будет больше „прибивать“ к левой стороне на нашем чертеже, к правой их будет подходить меньше, гальванометр покажет ток. Это явление наблюдал английский физик Холл. Аналогичные опыты можно проделать с тепловым потоком. Если мы будем нагревать нижний край пластиинки и охлаждать верхний, то по направлению снизу вверх (см. рис. 49) установится поток тепла, т.-е. в этом направлении будет передаваться молекулами энергия их движения. Так как электроны очень легко подвижны в металлах, то естественно предположить, что они должны играть большую роль в тепловом обмене. Это предположение обясняет давно известный факт, что чем лучше металл проводит электричество—чем свободнее движутся в нем электроны, тем лучше он проводит и тепло. Но более того, если наше предположение верно, то, поместив пластиинку, по которой идет тепловой поток, в магнитное поле, мы должны получить в цепи гальванометра (рис. 48) электрический ток, а кроме того, так как электроны, передающие тепловой поток в магнитном поле, будут отклоняться в сторону, мы должны наблюдать неравенство температуры. С левой стороны (см. рис. 49), должно быть теплее, чем с правой. Оба эти явления и наблюдались Ледюком, Нернстом и Эттинггаузеном.

Мы привели ничтожную долю всех фактов, доказывающих существование электронов, но я думаю—и теперь для вас должно быть ясно, что электроны—это не наша праздная фантазия, а самые подлинные реальные факты.

В заключение рассмотрим, как обясняется действие гальванического элемента, с точки зрения электронной теории.

Пусть в слабый раствор серной кислоты погружен цинк и уголь. Цинк в серной кислоте растворяется, но, как я думаю, вам уже известно из химии, чистый цинк очень мало растворяется в чистом растворе серной кислоты. Происходит это потому, что атомы цинка переходят в раствор, в виде т. н. ионов¹⁾, с положительным электрическим за-

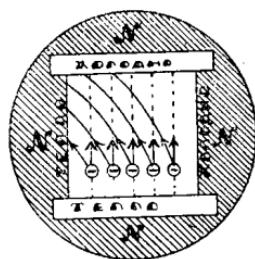


Рис. 49.

¹⁾ Ион значит с греческого „идущий“; ионом называются частицы, атомы, молекулы или их части, заряженные электричеством.

рядом, при этом отщепившиеся от атомов цинка электроны остаются на цинковой палочке (см. рис. 50). Через короткое время процесс растворения останавливается, потому что электроны начинают притягивать обратно к цинку растворенные атомы цинка, заряженные положительно. Число растворенных атомов определяется борьбой двух противоположных явлений: стремления цинка переходить в раствор и, с другой стороны, притяжения этих заряженных атомов цинка и оставшихся на цинке электронов (см. рис. 50).

Ионы цинка в растворе привлекут к себе часть электронов, почему уголь зарядится положительно. Как только мы соединим цинк с углем проволокой, так сейчас же электроны с цинка по проволоке побегут на уголь и восполнят нехватку электронов; но это нарушает установившееся равновесие: благодаря отливу электронов с цинка на уголь ослабляется притяжение ионов цинка, находящихся в растворе, к цинковой палочке, а потому становится возможным новое растворение цинка.

Таким образом, в гальваническом элементе при его работе происходит непрерывный диалектический процесс: равновесие непрерывно устанавливается, нарушается, вновь устанавливается и т. д.

Если цинк чистый и раствор серной кислоты также не содержит примесей, то растворение цинка скоро прекращается: оно тормозится притяжением оставшихся на цинке электронов: эти электроны задерживают своим притяжением отделяющиеся от цинка заряженные положительным электричеством атомы.

Если же на поверхности цинка есть примеси, то они вместе с чистым цинком образуют как бы гальванический элемент, а потому процесс растворения может продолжаться непрерывно.

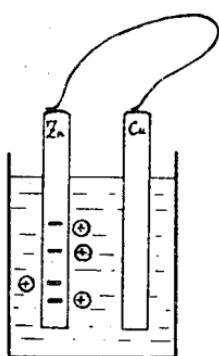


Рис. 50.

ЛЕКЦИЯ ШЕСТАЯ.

СОДЕРЖАНИЕ.

Применения теории электронов. Явление Эдиссона. Электронная лампа. „Катодные лучи“. Заряд и масса электрона. Скорость электронов в катодном пучке. Положительно заряженные частицы. Строение атома. Опровергает ли электронная теория материализм?

На прошлой лекции мы сделали попытку объяснить целый ряд электрических и магнитных явлений с помощью т. н. теории электронов. Я думаю, вы все могли убедиться, что теория электронов вытекает из самих фактов, и что мы имеем сейчас весьма веские доказательства существования этих мельчайших составных частей материи, и, кроме того, мы видели, как с помощью теории электронов мы легко можем объяснить себе самые сложные, самые запутанные, казалось бы, явления. Остановим теперь наше внимание на одном явлении, которое легко объясняется теорией электронов, и которое широко используется в современной технике. Можно даже сказать, вся современная радио-телефония и радио-телефония основана на использовании этого явления. Самое явление носит название эффекта Эдиссона. Заключается оно в следующем. Мы уже знаем из опытов Тольмана—Стюарта (см. лекцию 5), что в металле свободно двигаться могут только отрицательные заряды—электроны. Положительно заряженные части атома не могут перемещаться внутри металла на сколько-нибудь значительные расстояния, во всяком случае в короткий срок, в течение которого мы производим опыты. Если мы будем повышать температуру, т. е. будем увеличивать энергию движения составляющих

металл атомов и электронов, то электроны могут получить такую большую скорость, что, долетев до поверхности металла, они смогут, преодолев притяжение положительных зарядов металла, вырваться наружу.

Короче, при высокой температуре металлические проводники начинают „испарять“ свои электроны. Это явление впервые наблюдал Эдиссон, хотя в те времена, когда он открыл это явление (семидесятые годы XIX века), об электронах еще ничего не знали.

Мы сейчас воспроизведем это явление. Для этой цели мы берем лампу накаливания (см. рис. 51) с волоском АВ, питаляемым батареей D. В лампу впаяна металлическая пластинка С.

Если мы теперь соединим пластинку С, при помощи проволоки, с + полюсом с батареи Е, а накаленную проволоку с отрицательным полюсом в батареи Е, то в цепи С, G, с, Е, в, В появится ток, который мы заметим благодаря гальванометру G, включенному в эту цепь. Ток будет такого направления, что отрицательные заряды от проволочки АВ будут двигаться к пластинке С; положительный заряд С будет как бы высасывать испаряющиеся из АВ электроны.

Рис. 51.

Положительный заряд С будет как бы высасывать испаряющиеся из АВ электроны.

Отрицательные же заряды батареи Е, сообщаемые проволоке АВ, будут их выталкивать оттуда. Соединим теперь, наоборот, пластинку С с — полюсом батареи, а накаленную проволоку с +. При таком соединении батарея Е препятствует выделению электронов. В самом деле, отрицательный заряд пластинки С будет отталкивать отрицательные электроны, а положительный заряд проволоки АВ будет тянуть их обратно в проволоку.

Производим это переключение проводов на самом деле. Вы видите, гальванометр G не показывает тока. Вот это явление, с которым мы сейчас познакомились, теперь очень широко используется в радио-технике. В т. н. элек-

тронных лампах, сильно накаливая нить АВ, мы получаем поток испаряющихся электронов. Ставя на их пути сетку между АВ и пластинкой С, соединенной с положительным полюсом батареи Е (анод), мы можем усиливать или ослаблять этот поток в том случае, когда сетка заряжена + или —. Оказывается, что ничтожные изменения заряда, вызываемые волнами радио-телеграфа или радио-телефона, вызывают очень сильные усиления и ослабления потока электронов от накаленного проводника к аноду: вот это усиление и позволяет осуществлять радиопередачу на громадные расстояния. К этому вопросу мы еще вернемся (см. лекцию X). Весьма поучительно, что сам Эдиссон, открывший явление, которое мы сейчас наблюдали, не сумел извлечь из него никаких практических результатов. Это объясняется тем, что Эдиссон *не теоретик*. Для того, чтобы использовать на практике то или другое явление, его прежде всего надо понимать.

Те блестящие изобретения, которыми теперь пользуются все радиолюбители, получились в результате упорной работы целого ряда физиков, создавших электронную теорию, с помощью которой только и стало возможным использовать открытые Эдиссоном явления.

В рассмотренном нами примере электрический ток передавался от накаленного волоска АВ к пластинке С, с помощью электронов, перелетавших из АВ в С через сильно разреженный газ.

Если бы газ не был разрежен, мы получили бы целый ряд усложнений, и, между прочим, молекулы газа мешали бы свободному перелету электронов от АВ к С: электроны, наталкиваясь на частицы газа, будут отлетать обратно или отклоняться в сторону.

Вот почему поток электронов лучше всего изучать в трубках с сильно разреженным газом.

Возьмем т. н. брауновскую трубку (см. рис. 52). Соединим ее „катод“ К с отрицательным полюсом источника электрического тока высокого напряжения, положительный полюс с

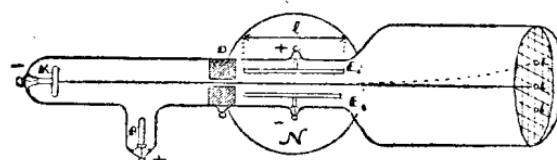


Рис. 52.

анодом А. Тогда против отверстия в диафрагме D мы увидим на экране, покрытом слоем минерала виллемита, светлое пятнышко С, имеющее очертания отверстия диафрагмы D. Это пятнышко вызвано потоком электронов, отталкивающихся от катода К и летящих по инерции по прямым линиям от К. В том месте, где электроны ударяются о слой виллемита, получается яркое свечение. Когда поток электронов ударяется о стекло, он также вызывает своеобразное свечение желтовато-зеленоватого цвета. Если мы зарядим пластинки конденсатора E_1 и E_2 (см. рис. 52), то светлое пятно перемещается в C_1 , поток электронов отклоняется, притягиваясь положительно заряженной пластинкой E_1 и отталкиваясь отрицательно заряженной пластинкой E_2 . Точно также, если поместить брауновскую трубку между полюсами электромагнита так, чтобы северный полюс был сзади трубы, т. е. за плоскостью чертежа, то поток электронов отклонится в C_1 . Почему? Потому что движущееся электричество, т. е. электроны представляют собой электрический ток. А электрический ток отклоняется магнитным полем. Направление, в котором проволока отклоняется, определяется, как мы видели (см. лекция III), правилом трех пальцев левой руки. (Применяя это правило, надо помнить, что за направление тока считалось движение положительного электричества, а электроны заряжены отрицательно). Разница состоит только в том, что раньше мы наблюдали движение электричества, т. е. электронов, в проволоке—теперь электроны летят свободно, т. е. в разреженном пространстве. Раньше мы видели отклонения проволоки, в которой двигались электроны, теперь мы видим отклонения самих электронов, которые ударяются благодаря отклонению в другое место экрана.

Эти опыты интересны тем, что при их помощи были впервые открыты электроны, т. е. было установлено, что светлое пятно есть след, т. е. то место, куда ударяется поток электрически заряженных частиц; масса этих частиц приблизительно в две тысячи раз меньше массы самого легкого из атомов—атома водорода, при чем эти частицы движутся с громадными скоростями всего только от 3 до 30 раз медленнее света (скорость света 300,000 километров в секунду).

Опыты с отклонением потока электронов магнитным и электрическим полем позволили произвести измерения, как

скорости, так и массы электронов. Чтобы показать, как можно на основании этих опытов определить скорость движения электронов, рассмотрим следующий случай: пусть поток электронов пролетает в брауновской трубке между заряженными пластинками конденсатора E_1 и E_2 . Чем будет обусловлено отклонение? Во-первых, отклонение будет тем больше, чем сильнее электрическое поле между пластинками E_1 и E_2 , а это поле— X в свою очередь зависит от того, как сильно заряжены пластины E_1 и E_2 . Кроме того это отклонение зависит от величины заряда e самого электрона. Итак, отклонение, вызванное электрическим полем, будет зависеть от силы Xe , действующей на электрон в электрическом поле. Поместим далее нашу брауновскую трубку с конденсатором E_1 E_2 в магнитное поле и притом таким образом, чтобы отклонение, вызванное магнитным полем, имело противоположное направление; тогда светлое пятно от действия магнитного поля будет перемещаться не в сторону C_1 , а в сторону C_2 . Ясно, что для этой цели надо включить ток в электромагнит так, чтобы за плоскостью чертежа был южный полюс (вспомним правило трех пальцев левой руки и не забудем, что электроны заряжены отрицательным электричеством!).

Отчего будет зависеть отклонение в магнитном поле? Ведь поток электронов есть электрический ток—сила этого тока, т. е. количество электричества, проходящее в секунду через любое сечение нашей трубки, зависит от заряда каждого из них e и от того, как быстро они движутся, т. е. от их скорости. Таким образом, сила тока в данном случае пропорциональна произведению заряда на скорость $v \cdot e$.

А изучая действие магнитного поля на ток, мы видели, что сила, действующая на проводник, обтекаемый током, пропорциональна силе тока и напряжению магнитного поля M . Итак, сила, вызывающая отклонение потока в магнитном поле, выразится произведением Mev . Мы ввели магнитное поле таким образом, чтобы вызванное им отклонение было противоположно действию заряженного конденсатора. Если мы теперь будем так изменять магнитное поле M или электрическое поле конденсатора E_1 E_2 (ослабляя или усиливая ток в электромагните и ослабляя или усиливая заряды пластины E_1 и E_2), чтобы $Mve = eX$, то наш пучек электронов не будет отклоняться: на него будут действовать две рав-

ные и противоположные силы. Если нам удастся добиться этого условия, то мы из полученного уравнения находим скорость $v = \frac{X}{M}$.

Таким способом можно измерять скорости электронных потоков и показать, что эти потоки электронов несутся с громадными скоростями, лежащими приблизительно в пределах от 1.000 до 100.000 километров в секунду.

Покажем, как можно, изучая отклонение, производимое электрическим и магнитным полем, определить массу каждого электрона. Для тех из вас, товарищи, кому вычисления, даже самые простые, причиняют большие трудности, мы можем объяснить в общих чертах способ измерения массы электрона следующим образом. Если нам дана сила, отклоняющая электрон, когда он пролетает в электрическом поле между пластинками E_1 и E_2 , то эта сила вызовет тем большее отклонение, чем меньше масса движущейся частицы. В самом деле, пусть по гладкой поверхности пола катится легкий деревянный шар и такого же размера старинное чугунное ядро. Дадим этим двум шарам легкие толчки деревянным молотком под прямым углом к направлению движения этих шаров, и пусть толчки одинаковы по силе. Ясно, что легкий шар будет „сбит“ со своего направления, а массивный будет продолжать двигаться почти по тому же самому направлению, как и раньше. Отсюда ясно, что по величине отклонения можно судить о массе электрона. Приведем теперь несложные вычисления, которые, однако, можно пропустить тем, кого затрудняют всякие вычисления вообще. Пусть мы указанным уже способом определили скорость v электронов, пусть длина пластинок E_1 и E_2 равна 1; тогда каждый электрон будет пролетать это расстояние в течение $t = \frac{1}{v}$ секунд (1).

В самом деле число секунд t получится, если мы все расстояние 1 разделим на v , т. е. на длину пути, пройденную в одну секунду. За это время на электрон действует сила eX . Какое она вызовет ускорение g ? Мы знаем, что сила измеряется произведением массы на ускорение $eX=mg$, откуда

$$g = \frac{eX}{m} \quad (2).$$

Ясно, что это ускорение постоянное, так как eX и m постоянные величины, а тогда под действием этого постоян-

ногого ускорения электрон пройдет в равномерном ускоренном движении за время t путь $S = \frac{gt^2}{2}$ (см. первую часть, лекция IV, стр. 56). Подставляя сюда вместо g и t их выражения из (1) и (2), мы находим

$$S = e \frac{x}{2m} \left(\frac{1}{v} \right)^2 \dots \dots \quad (3).$$

Откуда

$$m = e \frac{x}{2S} \left(\frac{1}{v} \right)^2 \dots \dots \quad (4).$$

Из выражения (4) вытекает, что для определения m надо знать еще величину заряда e .

Первые измерения величины заряда были сделаны по мысли Томсона следующим образом. Было замечено, что из пересыщенного пара капельки воды быстрее всего оседают на электрических зарядах. Если мы в области, где имеется пересыщенный пар, тем или другим способом получим значительное число свободных электронов или электронов, приведшихся к молекулам газа (а это будет иметь место, когда поток электронов налетает на молекулы газа), то сейчас же получается облако, притом облако заряженное, так как каждая капелька образовалась или на электроне или на молекуле, к которой пристал электрон. Если это заряженное облако заставить опуститься на диск, соединенный с электрометром, то можно без труда узнать общий заряд облака. Измеряя же скорость падения облака, можно определить размеры, а следовательно, и вес каждой капли. Когда мы имеем дело с маленькими каплями, то сопротивление воздуха играет громадную роль, и скорость падения зависит от размера капли. А если мы знаем вес каждой капли и определим весь вес упавшего на наш диск облака, то мы узнаем число капель и, следовательно, число зарядов—число электронов. Разделив общий заряд облака на число зарядов, находим заряд каждого электрона. Подставив эту величину в (4), мы получаем возможность определить m , т.-е. массу электрона. Опыты Томсона, Ленара и Кауфмана показали, что масса электрона в 1850 раз меньше массы атома водорода, что электроны везде одни и те же, из чего бы мы ни делали катоды в трубках (см. рис. 52), какими бы мы газами ни наполняли и какими бы способами вообще мы ни полу-

чали эти электроны. Все это ясно показывает, что электрон есть составная часть любого вещества. Таким же способом можно исследовать то, что остается от атома, когда мы от него отщепим один или несколько электронов. Для этой цели устраивают катод посередине разрядной трубы (см. рис. 53) и в нем устраивают отверстие: знакомые уже нам потоки электронов или „катодные лучи“, как их называли раньше, образуются в части трубы на нашем рисунке справа от К, т. е. там, где имеется анод А. По другую сторону катода мы получаем потоки положительно заряженных частиц, падающих на экран ММ, и мы можем изучить их, производя отклонения электрическим и магнитным полем. Эти опыты были проделаны Вином в Германии и с особой тщательностью Томсоном и его учени-

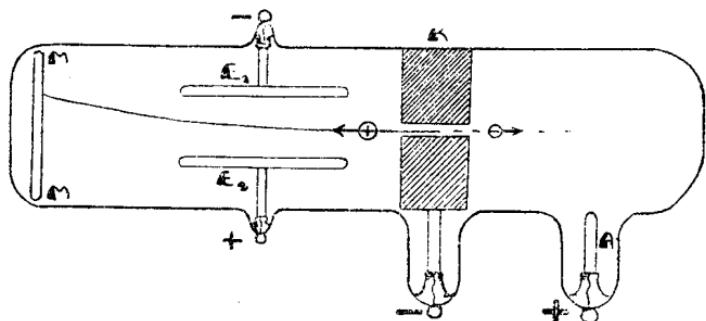


Рис. 53.

ником Астоном в Англии. Результаты этих исследований весьма интересны. Во-первых, положительно заряженных частиц, по массе меньших, чем атом водорода, получено не было,—а так как атомы водорода получаются теперь искусственно из атомов азота, алюминия, фосфора и ряда других элементов, то, повидимому, положительно заряженные атомы водорода являются на ряду с электронами одной из составных частей любого из атомов любого вещества.

Во-вторых, оказалось, что *положительный* заряд атомов водорода никогда не превышает по числовой величине заряд электрона (знак у него, конечно, противоположный). У других атомов, например, у ртути положительный заряд может быть во много раз больше заряда электрона. Это показывает, что у атома водорода в нормальном — нерасщепленном состоянии один электрон, у других же атомов их больше и, опыт показывает, тем больше, чем атом имеет

большую массу. Так как в нормальном состоянии атом не заряжен, то в нем положительного электричества столько же, сколько отрицательного; оттого—если у атома много электронов, то, когда мы несколько электронов отщепим, остающийся положительный заряд оказывается большим. Вы видите, таким образом, что наши представления о строении атома из электронов, можно сказать, сами собой нам „навязываются“ этими замечательными опытами. Электронная теория, как мы видим, приводит нас к единству материи, где же тут, казалось бы, малейший повод строить какие-нибудь опровержения материализма?

Мы сейчас, однако, увидим, что из тех же самых опытов, которые позволили определить массу электрона, был сделан поспешный вывод, за который ухватились философы-идеалисты самых разнообразных толков. Почвой для этого послужило учение об электро-магнитной массе.

Еще в 1881 году Томсон показал, что всякое заряженное тело, благодаря присутствию на нем электрического заряда, должно обладать добавочной массой, которую назвали электро-магнитной массой. Мы, однако, не будем пока следовать за Томсоном—мы к его взглямам вернемся—так как если бы мы от начала до конца следовали за Томсоном, то мы нигде не отступили бы от основ материализма: взгляды Томсона нигде не порывают с основами материализма. Для выяснения дела мы попробуем рассуждать так, как рассуждает значительная часть ученых—сторонников „чистого описания“. Ученые этого типа считают, что всякое представление об атомах, которых мы непосредственно не видим, всякое объяснение физических явлений с помощью эфира, о котором мы пока еще очень мало знаем, есть „вредная материалистическая метафизика“; задача же настоящей науки будто бы состоит в точном и „экономном“ „описании“ того, что непосредственно доступно нашим измерениям, нашим ощущениям. Станем на время на эту точку зрения. Пусть у меня в руках шар массы m , если я брошу этот шар со скоростью v , то мне придется, как показывает теоретическая механика, подтверждаемая бесчисленными опытами, затратить энергию, измеряемую величиной

$$K = \frac{mv^2}{2} \dots (5).$$

Представим себе, что я взял тот же шар и, сильно зарядил его электричеством и опять бросил его с той же скоростью v . В этом случае мне придется затратить больше энергии, чем раньше, несмотря на то, что шар по предположению летит с той же скоростью. Почему? Да ведь движущийся заряженный шар есть электрический ток, а электрический ток обладает энергией. Если наш шар будет пролетать мимо магнитной стрелки, то стрелка отклонится. Как бы легка ни была стрелка, на ее перемещение требуется энергия, а эта энергия взялась из движущегося шара, и ее не было, когда шар летел, не будучи заряжен электричеством. Таким образом, сообщая скорость v заряженному шару массы m , я должен сообщить ему энергию K_1 , большую, чем K , а шар движется все-таки с той же скоростью v . Вместо равенства (5) мне придется написать:

$$K_1 = \frac{(m + m_1)v^2}{2} \dots \dots (6),$$

т.е. дело происходит так, как будто у шара массы m прибавилась добавочная масса m_1 , масса „электромагнитная“. Исследования Кауфмана показали, что масса электрона чисто „электро-магнитная“, т. е., что „материальная“ масса $m=0$. Итак, что же осталось? Осталась электро-магнитная энергия, а ее носитель материя исчезла! Энергия, оказывается, не имеет никакого носителя. К такому результату очень часто приходят, когда люди пользуются в своих рассуждениях абстрактным понятием „энергия“, не задаваясь при этом вопросом, что является носителем этой энергии.

В самом деле, мы говорили об энергии электрического тока, об электро-магнитной энергии нашего движущегося шара, а где эта энергия находится?

Вернемся теперь к взглядам Томсона. Так ли уж необычно понятие об электро-магнитной массе? Представим себе твердый шар, который мы заставляем двигаться сначала в воздухе, а еще лучше в сильно разреженном, т. н. „безвоздушном“ пространстве, а затем заставляем двигаться с той же скоростью под водой на манер подводной лодки. Шар может двигаться в воде только при том условии, что окружающая его вода приходит в движение: она вытесняется шаром спереди, оттуда, куда движется шар, и, обтекая кругом

шара, занимает то место, где шар был только что перед тем. На рисунке 54 изображены стрелками направления, по которым течет вода вблизи движущегося шара. Теперь совершенно ясно, что если для приведения в движение шара в разреженном воздухе мне нужна была энергия:

$$K = \frac{mv^2}{2} \dots \dots (7),$$

то в воде при движении шара с той же скоростью придется затратить больше энергии:

$$K_1 = \frac{(m+m_1)v^2}{2} \dots \dots (8),$$

где m_1 масса приводимой в движение воды, окружающей наш шар. Эта масса играет ту же роль, что и электромагнитная масса.

В данном случае для нас вполне ясно, что же является носителем добавочной энергии $\frac{m_1 v^2}{2}$ — это движущаяся вода!

Точно также и при движении электрического заряда приходит в движение прилегающая к заряду среда, т. н. „эфир“. Томсон, первый строго установивший понятие об электромагнитной массе, так и говорит: электромагнитная масса есть масса эфира, увлекаемого движущимся электрическим зарядом.

Но как же быть с отсутствием у электрона „материальной“ массы? Ведь это вытекает непосредственно из точнейших опытов Кауфмана? Представим себе, что наш шар состоит из очень тонкой и очень легкой оболочки, и пусть из шара выкасан воздух. Заставим этот шар двигаться под водой. Тогда в формуле (8) m будет близко к нулю, т. е. масса внутри шара будет равна нулю, вся же движущаяся масса будет состоять из воды и оболочки шара.

В природе мы имеем очень близкий к этому случай. Вспомним, как всплывают пузырьки со дна пруда или реки. Где, спрашивается, находится то, что в данном случае движется? Ясно, что основная движущаяся масса есть масса воды, которую расталкивает пузырек,—ее масса, как показы-

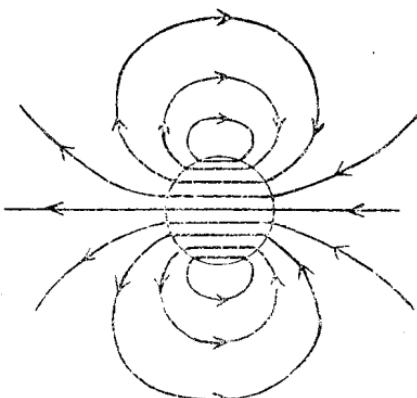


Рис. 54.

вают подсчеты, почти в 500 раз больше, чем масса воздуха, находящегося внутри пузырька. Результат, полученный Кауфманом, с этой точки зрения истолковывается так: электрон по своему строению до известной степени сходен со строением пузырька воздуха в жидкости. Главная его масса есть масса окружающей его и движущейся вместе с ним среды—эфира.

Отсюда получается очень важный вывод—то, что мы в обычном смысле называем материей, состоит из той особой материи, которая наполняет собой все пространство, и которую физики называют эфиром. Таким образом, благодаря работам Томсона, мы подвинулись еще дальше по пути доказательства единства материи, из которой построены мы сами и весь окружающий нас мир. Отчего же все-таки значительная часть ученых была сбита в данном случае с толку и заговорила о „дематериализации“ материи? Оттого, что в своих теоретических построениях эти ученые отвергли необходимость построения конкретных моделей, изображающих то, что происходит в действительности в природе, и довольствовались отвлеченными математическими уравнениями.

Им казалось достаточным, что эти уравнения вполне точно „описывают“ то, что мы непосредственно видим и измеряем. Они забыли, что эти уравнения не есть что-то самостоятельное, а есть лишь только отражение в нашем сознании движущейся материи, оттого у них, по словам тов. Ленина, „материя исчезла—остались одни лишь уравнения“.

ЛЕКЦИЯ СЕДЬМАЯ.

СОДЕРЖАНИЕ.

Волнообразное движение. Скорость распространения волны; колебательное движение. Какие колебания вызывают ощущение звука. Передача колебаний через воздух. Методы изучения колебательных движений. Прибор для записи колебаний по системе Лебедева. Чем отличаются различные звуки друг от друга. Передача звуков на расстояние. Телефон.

В нашем обзоре электро-магнитных явлений, мы не касались до сих пор тех весьма часто встречающихся явлений, когда электро-магнитная энергия распространяется по всем направлениям от своего источника в виде волн, несущих с собой эту энергию с громадной скоростью в триста тысяч километров в секунду. Эти явления принимают для нас самый разнообразный вид в зависимости от того, как велики будут волны, вызываемые данным источником,—в зависимости от того, какую они будут иметь длину. Если мы имеем дело с электро-магнитными волнами, у которых длина волны l_0 , или расстояние от одного гребня волны до следующего (или, что то же самое, расстояние, на котором укладывается одна волна со своим „гребнем“ и „долиной“) (см. рис. 55) будет измеряться несколькими стотысячными долями сантиметра (от 4 до 7 стотысячных), то такие волны, попадая в наш глаз, вызывают впечатление света. Если длина волны будет измеряться сантиметрами, метрами и километрами, то это будут волны, которыми мы пользуемся в радио-телеграфе и радиотелефоне или в наших лабораторных опытах. Волны других длин — подлиннее и покороче, чем световые, дают начало т. н. невидимым лучам тепловым „инфра-красным“, ультра-

фиолетовым—действующим на фотографические пластиинки и, наконец, лучам Рентгена. Откуда мы знаем, что все перечисленные явления вызываются волнами, да еще электро-магнитными?

Для того, чтобы выяснить, как современная физика пришла к этому выводу, нам надо познакомиться с колебатель-

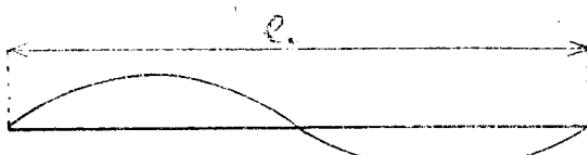


Рис. 55.

ным движением и показать, как любое тело, приведенное в колебательное движение, вызывает потоки волн в окружающей среде. Чтобы эта картина была для нас яснее, мы познакомимся сначала с такого рода колебаниями, которые легко наблюдаются глазом. Мы заставим эти колебания вызывать волны в такой среде, где эти волны можно опять-таки легко наблюдать, и где самый факт существования волнующейся среды не подлежит сомнению. Потом, постепенно мы будем знакомиться с приемами, позволяющими изучать волны в тех случаях, когда волны и самая среда, в которой они распространяются,

непосредственно нам не доступны. Прежде всего возьмем длинную резиновую трубку, привяжем один из ее концов—другой возьмем в руку. Если сделать

а. рукой полное колебание, т.-е. опустить руку

из *a* в *b* (см. рис. 56а), повести ее обратно через *a* к *d* и обратно к *a*, то на трубке появится одна волна. Если сейчас же следом повторить такое же полное колебание и сделать его с такой же быстротой,

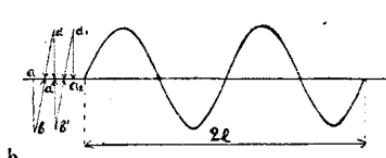


Рис. 56 а и б.

то на трубке появятся две волны одна за другой. Если мы сделаем движения руки более медленными, то волна получается более растянутая (рис. 55). Ее длина, т. е. область, на которой укладывается и гребень и долина (эта длина одинакова с расстоянием от гребня до следующего гребня (см. рис. 57), будет больше, чем в случае более быстрого—более короткого колебания. Пусть промежуток времени, в течение которого мы сделали рукой одно колебание, равняется T секунд (это число может быть целым или какой-угодно малым

дробью, если колебания очень быстры). Спросим себя теперь, на какое расстояние за этот промежуток времени распространилось волнобразное движение по трубке? Движение распространилось на длину, равную l . В самом деле, в результате одного колебания получилась одна волна: на расстоянии l и больше

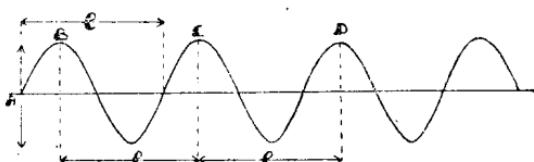


Рис. 57.

от того места, где находится рука, трубка еще не движется вообще. За время $2T$, как видно из рисунка 56, волна распространилась на $2l$. Таким образом, скорость V распространения волн, т.-е. путь, пройденный волной в единицу времени, определяется, как отношение пройденного пути к промежутку времени, в течение которого этот путь был пройден, и в данном случае равняется

$$V = \frac{1}{T} = \frac{2l}{2T} \dots \dots \dots (1), \text{ откуда находим}$$

$$l = V \cdot T \dots \dots \dots (2)$$

Отсюда видно, что если скорость V остается для волн любой длины одна и та же, то, чем больше время колебания T , тем больше и длина l соответствующей этому колебанию волны. С другой стороны, чем больше время T , тем меньше колебаний будет происходить в течение одной секунды. Если $T=1$ секунде, то в секунду мы будем иметь только одно колебание, если $T=0,5$ секунды, то колебания будут вдвое более частые, т.-е. в секунду их будет два и т. д.

Отсюда, частым колебаниям будут соответствовать короткие волны.

В нашем примере все было непосредственно видно. Среда, по которой распространялись волны — резиновая трубка — была всем вам видна, самое волнобразное движение трубы также было хорошо видно; наконец, видны были колебания руки, которые вызвали волны на трубке. Переядем теперь к более сложным случаям. Зажмем в тиски стальную пластинку — полотно ножевки, при чем зажмем его почти на самом ее конце (см. рис. 58), отогнем свободный

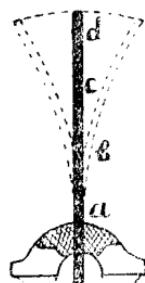
конец и предоставим его самому себе. Мы ясно видим, что полотно колеблется. Будем зажимать теперь полотно все короче и короче, впуская его все глубже и глубже в тиски. Вы видите, как колебания становятся все быстрее и быстрее, за ними невозможно уследить глазом, но за то вы все замечаете, что наше колеблющееся полотно стало издавать звуки: сначала глухие, низкие—басовые, потом по мере того, как колебания учащались, когда мы зажимали полотно все короче и

короче, звуки становились все более высокими—пронзительными. Это очень наглядный пример перехода количества в качество. Пока колебания были редкие, пока число их не превышало 16—20 колебаний в секунду, никакого звука не было. Колебания с числом больше чем 20 в секунду воспринимаются уже нашим ухом как звук. Точно также колебания с числом 20.000—30.000 в секунду уже опять перестают действовать на наше ухо; мы их больше не слышим. Эти границы,

Рис. 58.

однако, не вполне одинаковы для всех людей, и их надо рассматривать как примерные, как средние границы чисел колебаний, оказывающих действие на слуховой аппарат человека. Как же передаются колебания эти нашему уху? Не забудем, что наше колеблющееся полотно ножевки было окружено воздухом. Колебания полотна передавались воздуху—в воздухе возбуждались волны, как на резиновой трубке от колебаний руки, и эти волны распространялись *во все стороны* от пластиинки.—Достигнув нашего уха, эти волны заставляют колебаться барабанную перепонку; далее эти колебания передаются воспринимающим звук нервам.

Мы сейчас покажем, что для передачи звука необходим воздух. Я помещаю электрический звонок под колокол воздушного насоса: вы все слышите звук, хотя и несколько „сдавленный“, так как через толстый стеклянный колокол звук не так легко проходит. Мы пускаем в ход насос, и вы замечаете, как по мере выкачивания, по мере того, как воздух становится более и более разреженным, звук замирает. Вот он прекратился. Мы открываем кран и постепенно впускаем воздух. Вы слышите, как звон появляется и постепенно усиливается. Отсюда ясно, что для передачи звука необходим воздух. Как доказать, однако, что всякое тело, издаю-



щее звук, находится в состоянии колебательного движения? Что полотно ножевки колебалось—это было для нас ясно, хотя мы и не могли уследить глазом за этими колебаниями. Но вот я беру камертон, стоящий на резонансном ящике, ударяю по нему резиновым молотком—мы все слышим звук. А видны ли колебания камертона? Мы их не видим. Но пододвинем звучащий, хотя бы и слабо, камертон к легкому, висящему на нитке, тонкостенному стеклянному шару (рис. 59), и вы видите, как этот шарик от каждого прикосновения к звучащему камертону отскакивает. Покажем теперь, что колебания звучащего тела по характеру очень сходны с колебаниями маятника. Вы видите—у нас на столе имеется маятник, устроенный из стеклянной воронки. Наполним воронку песком и, закрыв отверстие пальцем, отводим воронку в сторону (см. рис. 60). Открыв отверстие и отпустив маятник, мы видим, как песок высыпается по направлению прямой линии, соответствующей направлению колебания маятника. Если мы теперь потянем лист картона DD по направлению стрелки, как указано на рис. 60, мы получим „запись колебаний“ маятника в виде волнистой песчаной дорожки m , m^1 , m^2 . Полоска DD получилась при качании маятника и неподвижном картоне. Таким образом, мы можем заставить маятник записывать свои собственные колебания. Получающаяся волнистая линия носит название „синусоиды“. Эту линию можно получить, идя равномерно по песку и размахивая палкой справа налево и слева направо так, чтобы кончик палки чертил по песку.

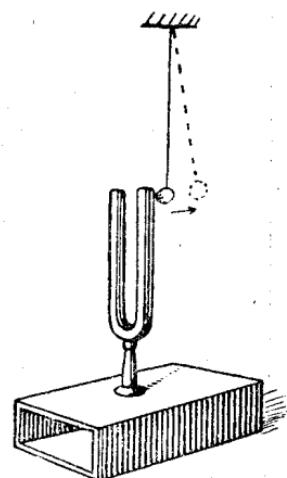


Рис. 59.

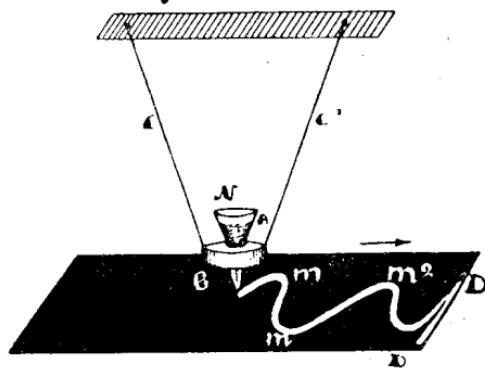


Рис. 60.

Чтобы записать колебания камертона, укрепим к одному из его свободных концов при помощи воска иголку а (рис. 61). Ударив камертон резиновым молотком (резиновая пробка, наложенная на деревянный стержень), проведем иглой по закопченной стеклянной пластинке, стараясь при этом двигать камертон возможно более равномерно. Отбросим теперь при помощи фонаря на стенку изображение нашей закопченной пластиинки: вы видите след иглы в виде волнистой линии — синусоиды, вполне сходной с записью колебания маятника.

Если бы мы на той же закопченной пластинке при помощи часов механизма, соединенного с другой иглой, делали отметки через равные промежутки времени, скажем, через каждую секунду, то, подсчитав, сколько волн, сделанных острием камертона, укладывается между двумя отметками часов, мы могли бы узнать, сколько колебаний в секунду делает наш камертон. Это один из способов определения колебаний. Однако, для вас, я полагаю, ясно, что далеко не все источники звука мы можем исследовать таким способом. Не могу же я в самом деле залезть в горло к человеку и при克莱ить к его голосовым связкам иголку, а потом, засунув туда закопченное стекло, записать колебания голосовых связок во время пения или разговора! Мы сейчас увидим, что в этом совсем нет и необходимости, так как колебания любого источника звука можно передать через посредство воздуха натянутой круглой пластине, и уже колебания этой вспомогательной пластины можно исследовать тем или другим способом.



Рис. 61.

Я сейчас покажу вам простой прибор, построенный по мысли моего учителя, покойного профессора Московского Университета П. Н. Лебедева,—прибор, позволяющий изучать всем сидящим в большой аудитории звуковые колебания любого источника звука в том числе и человеческого голоса. Самая существенная часть прибора состоит из пробковой пластины М, зажатой между кольцами В В (см. рис. 62 I, 62 II), и связанного с ней зеркальца А, вращающегося около оси ОО и опирающегося на пробковую подставку а, находящуюся на кон-

чике иглы, укрепленной посредине пластины M . Если пластина M будет приведена падающими на нее звуковыми волнами в колебательное движение, то эти колебания будут передаваться зеркалу. Когда пластина, выгибаясь, занимает положение M^1 , зеркало запрокидывается, и отраженный от

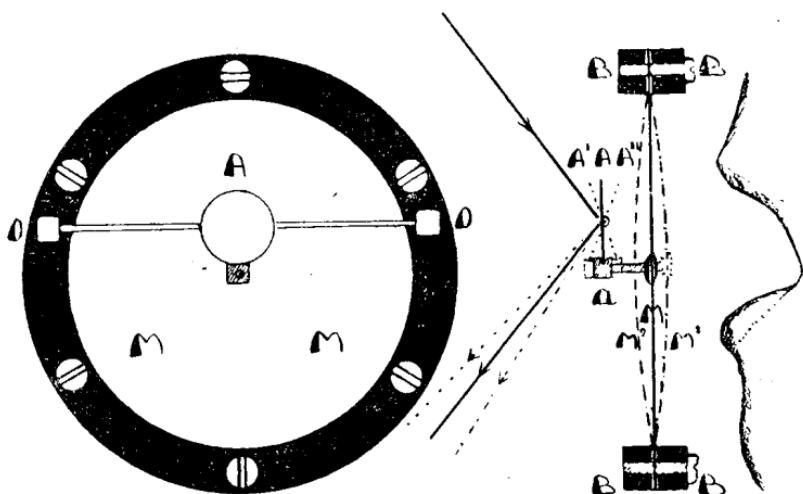


Рис. 62.

него луч света пойдет вверх. Когда же пластина M отходит в положение M^1 , зеркало нагибается вперед, и отраженный от него луч идет вниз. Таким образом, ничтожно малое колебание пластины M вызывает большие перемещения светлого пятна на стене, куда падает пучек света, отражающийся от зеркала A . Если мы пустим пучок света на зеркальце и примем его на белую штукатуренную стену, то мы заметим, как при каждом звуке, который мы возбуждаем перед пластиной MM , светлое пятнышко размывается в полоску; так же, как высыпающийся из воронки маятника песок укладывался в прямолинейную дорожку, пока лист картона, на который он высыпался, был неподвижен. Чтобы получить запись колебания маятника, мы заставляли картон двигаться под прямым углом к направлению, в котором качался маятник. В данном случае мы получаем запись колебаний следующим образом. Луч света A_1 от электрического фонаря F попадает на зеркальце Z , связанное с пластиной M нашего прибора. Отразившийся пучек света A_2 попадает на так называемое вращающееся зеркало B . Это зеркало, как видно

(см. рис. 63), состоит из нескольких плоских зеркал b , b_1 , b_2 , b_3 и т. д. Эти зеркала вращаются около общей оси ОО. Вследствие этого движения отраженный луч А будет перемещаться, и пучек света будет попадать в разные части стены. Так как в то же время зеркальце то наклоняется, то запрокидывается, то светлое пятнышко опишет извилистую линию. Мы ее увидим сразу, потому что впечатление в глазу сохраняется некоторое время после того, как пятно уже ушло с данного места стены. Поэтому мы увидим пятно света на стене, сразу в очень большом числе положений, которые это-

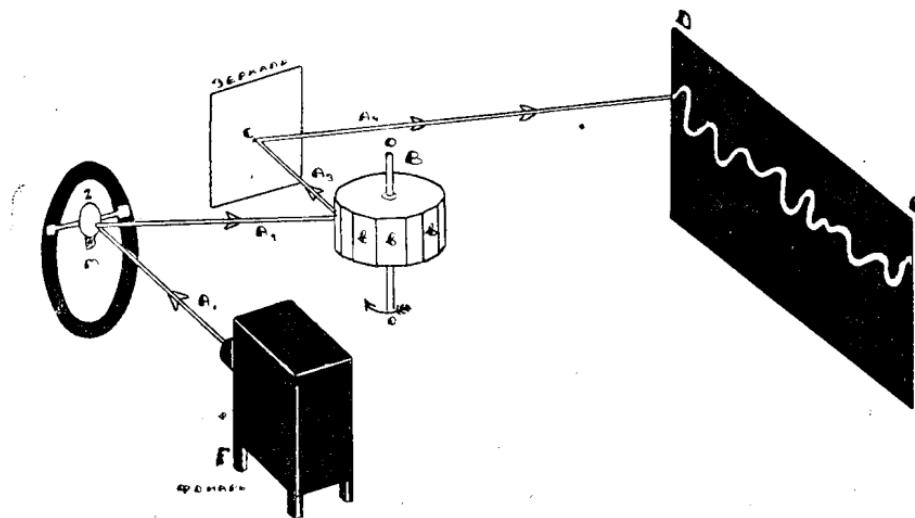
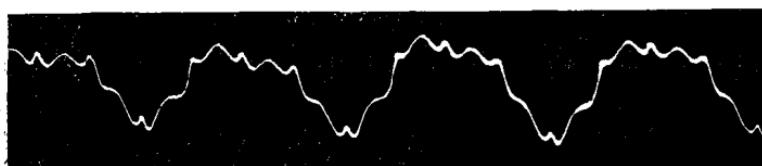


Рис. 63.

пятно занимало последовательно одно за другим. Так же точно мы видим светлое кольцо, когда в темноте быстро вертим тлеющий уголь: мы видим уголь сразу во всех местах его пути по кругу; на рисунке 63 видно, что отразившийся от движущихся зеркал b , b_1 , b_2 и т. д. луч не сразу попадает на стену, а предварительно отражается от зеркала С. Это сделано для того, чтобы говорящий перед пластинкой М сам видел запись колебаний: иначе запись получалась бы на другой стене за спиной говорящего. Проделаем сейчас ряд опытов. Приведем в движение зеркала. Вы видите — светлое пятно растянулось в длинную полоску. Придвинем теперь к нашему прибору звучащий камертон: полоска превращается в волнистую линию, одинаковую с той, которую мы получили на закопченном стекле с помощью иглы. Это

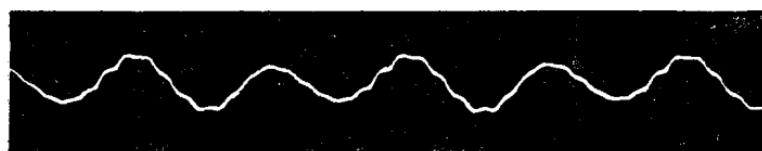
показывает нам, что наш прибор правильно передает колебания тех звуков, которые воспроизводятся перед ним. Возьмем теперь камертон, дающий звук, на „октаву“ более высокий. Мы получаем ту же извилистую кривую, но число волн на ней при той же длине оказывается вдвое больше; чем „выше“, чем пронзительнее звук, тем большему числу колебаний в секунду он соответствует. Теперь я буду перед прибором громко выкрикивать звук „А“. Вы видите—теперь получается гораздо более сложная кривая (см. рис. 64а). Теперь я по очереди, не прерывая вращения, буду громко выкрикивать гласные а, о, е, у (рис. 64). Вы видите каждый раз по-



а



б



в



г

Рис. 64.

является особого рода кривая. Таким образом, колебания голосовых связок, вызывающие тот или другой гласный звук, сильно друг от друга отличаются. Теперь я буду продолжать говорить, но буду говорить немного громче, чем обычно, и буду говорить вблизи от пластины М—все время при этом вращая зеркала. Вы видите—на стене получаются самые разнообразные кривые. Если бы вы, товарищи, были достаточно внима-

тельны и заметили бы, а что еще важнее, запомнили бы, какая кривая какому звуку соответствует, то вы могли бы, заткнув себе уши, „слушать“ лекцию при помощи глаз, наблюдая эти кривые на белой стене!

Если мы возьмем две волнистые линии А и В (рис. 65а)—две синусоиды одинаковой частоты—и „сложим“ их, т.-е. к „смещению“ ОМ, вызванному колебанием А, прибавим смещение ОН, то мы получим точку Р кривой С.

Складывая таким

же способом кривую а (рис. 65в) и кривую б—при чем кривая б имеет частоту вдвое большую, чем а: колебания б составляют „октаву“ колебаний а—мы получаем кривую с значительно более сложного вида. Французский математик и физик Фурье, живший в начале XIX века, показал, что всякую „периодическую“, т.-е. всякую кривую, которая через равные промежутки повторяется, как бы сложна она ни была, можно разложить на простые синусоиды (А, В, и С рис. 65а, а и б рис. 65в), частоты которых относятся как простые числа 1:2:3:4 и т. д. Это значит, что на протяжении одной волны а

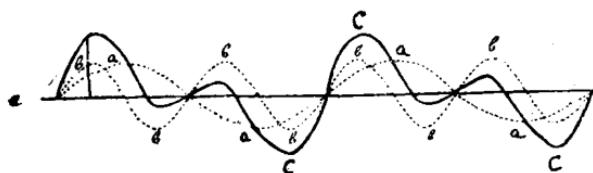


Рис. 65а.

и т. д. Это значит, что на протяжении одной волны а

укладываются две волны кривой в, три волны какой-нибудь волны в' и т. д. При чем эти составные колебания могут не все иметь одинаковые размахи, и, кроме того, некоторые из них могут быть пропущены. Как показал Фурье, любая самая сложная кривая может быть разложена на простые „синусоиды“, и притом Фурье указал, как можно отыскать эти синусоиды. Гельмгольц отыскал, из каких составных колебаний состоят гласные а, е, и, о, у. Подобрав надлежащий набор камертонов (мы видели сегодня, что запись колебаний каждого камертонов представляет собой синусоиду) и заставляя их звучать все вместе, он получил действительно звуки гласных. Это лучшее доказательство того,

что мы на самом деле узнали состав звука, раз мы по нашему желанию можем их воспроизводить. Таким же путем можно показать, чем отличается звук одного голоса от другого. Ведь вы все теперь хорошо различаете голоса ваших преподавателей. Если бы между вами и мной было натянуто полотно, через которое вы бы не видели того, кто с вами говорит, то я полагаю, что вы все-таки меня сразу узнали бы по голосу. А чем отличается мой голос от других? Оказывается тем, что кривая, которая получается, когда я, скажем, издаю звук „а“, не совсем похожа на кривую, которая получается, если этот звук „а“ издает кто-нибудь другой. Колебания будут состоять из сходных простых колебаний, но у них будут и различные составные части. Наше ухо улавливает эти различия точно так же, как и наш глаз на записях колебаний заметит маленькое различие. Таким образом, различиям в звуках объективно соответствует различие в составе сложного колебания, распадающегося на тот или другой ряд простых колебаний, т. е. колебаний, запись которых изображается простой волнистой линией—синусоидой.

Посмотрим теперь, как можно передавать колебания по телефонным проводам. Рассмотрим для этого модель телефонной цепи

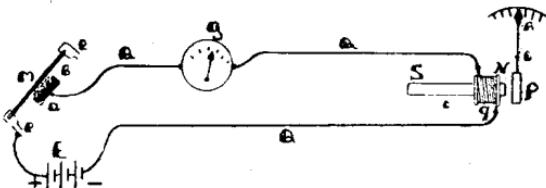


Рис. 66.

(рис. 66). Пластина М—в хороших телефонах ее делают из тонкого прессованного угля—закрывает собой коробку, наполненную угольным порошком. Дно этой коробки состоит из угля *a*, боковые стенки *b* из тонкого войлока. Эта коробка представляет собой т. н. „микрофон“; он помещается в той части телефонной трубки, куда мы говорим. Через микрофон пропускается ток от батареи Е. В проводку мы включаем измеритель тока *g*; в конце проводки QQ включается обмотка, сквозь которую проходит железный стержень NS. Перед ним укрепляется телефонная жестянка пластиинка. В нашей же модели перед NS висит кусок железа P, врачающийся около оси O и снабженный стрелкой R. Я начинаю теперь пальцем нажимать на пластиинку M и сдавливаю этим движением угольный порошок:

от этого он начинает лучше проводить электрический ток. Измеритель тока отклоняется; ток усиливается; усиливается и намагничение железа NS: кусок железа Р притягивается. Вы это видите по движению стрелки R. Когда мы говорим по телефону, то пластинка „микрофона“ М колеблется и то больше то меньше сжимает угольный порошок, вследствие этого ток то усиливается, то ослабевает, отчего и пластинка слухового аппарата начинает колебаться перед электромагнитом. Но так как колебания в телефоне и микрофоне очень малы, то их трудно заметить, а чтобы наглядно продемонстрировать действие телефона в большой аудитории, я вызывал очень большие колебания микрофонной пластинки, нажимая на нее пальцем и потом отпуская палец. Как бы то ни было, но на этой модели мы видим те основные явления, из которых складывается действие телефона. Все, о чем у нас была речь сегодня, очень поучительный пример того, как изучение чего-то неизвестного — сложного звука — приводит нас к возможности использовать наши сведения для практики: мы научаемся передавать по нашему желанию эти сложные колебательные движения, составляющие звуки человеческого голоса, на громадные расстояния и, таким образом, можем слышать речь за тысячи верст. На языке диалектики это значит „весь в себе превратить в весь для нас“.

ЛЕКЦИЯ ВОСЬМАЯ.

СОДЕРЖАНИЕ.

Волны и их отражение. Отражение волн от вогнутого зеркала. Главный фокус. Изображение в вогнутом зеркале. Отражение волны. Отражение волн звука. Отражение волны лучистого тепла. Отражение света. Стоячие волны. Узлы и пучности. Стоячие волны звука. Трубка Кундта. Стоячие волны света — опыты Винера. Дифракционная решетка. Явление дифракции света в природе. Доказательства волнообразной природы света.

На прошлой лекции мы занимались изучением колебательного движения и только отчасти затрагивали вопрос о передаче колебательного движения в той или другой среде. Мы видели, например, что те виды колебательного движения, которые вызывают в нашем ухе ощущения звука, могли достигать нашего уха только тогда, когда между звучащим телом и ухом находится воздух или какое-нибудь передающее колебание тело — какая-либо среда. Звук ведь может передаваться не только по воздуху. Так, погружая колокол в воду, можно слышать на большом расстоянии звук, если опустить в воду реки или озера, куда погружен звучащий колокол, конец слуховой трубки. Итак, для передачи колебаний необходима среда, частицы которой в процессе передачи сами приходят в состояние колебательного движения; мы видели на опыте, как хорошо и полно передавались через воздух колебания человеческого голоса, который мы изучали с помощью колеблющейся пластины, соединенной с зеркальцем, отражавшим луч света. Сегодня мы остановимся более подробно на процессе передачи колебаний через ту или другую среду и покажем, почему мы считаем, что

свет есть волнообразное движение, а в источнике света происходят непрерывно колебания, которые и вызывают это волнообразное движение. Мы прежде всего остановимся на таких примерах, где самый процесс распространения волн легко доступен нашему глазу. Прежде всего вернемся к резиновой трубке. Она привязана с одного конца, и если я сильно встряхну ее свободный конец, то по трубке бежит волна. Когда волна доходит до того места, где трубка закреплена, она отражается, и вы видите, как отразившаяся волна бежит теперь по направлению к моей руке. Всякий раз, как распространяющаяся волна набегает на какое-нибудь препятствие, она, отразившись, бежит обратно.

Мы помещаем сейчас между двух столов большую ванну со стеклянным дном; ставим на пол электрический

фонарь и пускаем через ванну свет таким образом, чтобы он, пройдя через ванну, падал на стену. Если мы теперь нальем немного воды в ванну и заставим по ее поверхности бежать волны, то движения этих волн хорошо видны на стене. Я уда-

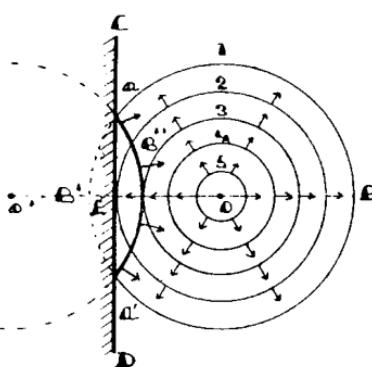


Рис. 67.

ряю слегка пальцем о воду, и вы видите—от пальца побежали круги, как от камня, брошенного в пруд. Теперь я помещаю в воду перегородку CD (см. рис. 67); волны 5, 4 и 3 распространяются, как и раньше, волна 2 только коснулась в Е перегородки, здесь сейчас должно начаться отражение. Что же касается волны № 1, то, если бы перегородки CED не было, она имела бы вид Ba B'a'. Но перегородка не пропускает волны, поэтому части ab'a' не будет, вместо нее мы получим отраженную волну ab'a'', при чем эта волна отойдет от зеркала обратно на такое же расстояние, на какое волна ab'a' прошла бы вперед, если бы перегородки не было. Отрезок EB'=отрезку EB"; то же самое имеет место для всех частей дуги ab'a''. Совершенно ясно, что дуга ab'a'' будет иметь своим центром O', при чем O'E=OE. Дело происходит так, что у отраженных волн

будет центр, который лежит за препятствием CD на таком же расстоянии, на каком „источник“ волн O лежит „перед“ препятствием CD. Мы можем сказать, что O' есть „изображение“ источника волн O в „зеркале“ CED.

Мы получаем первый пример сходства между явлением света и волнообразным движением. Когда мы смотримся в зеркало, то наше изображение нам кажется за зеркалом и при том на таком же расстоянии *за зеркалом*, на каком мы сами стоим *перед зеркалом*. Посмотрим теперь, как проис-

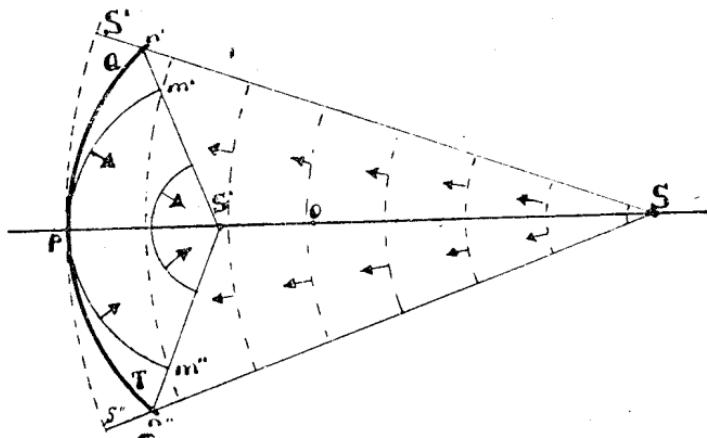


Рис. 68.

ходит отражение в вогнутом зеркале. Ставим в воду согнутую в дугу пластинку QPT и начинаем пускать из S круговые волны. Если бы „зеркала“ не было, то распространявшаяся до P волна заняла бы положение „s'Ps“". Но „зеркало“ не пропускает волн, и в действительности к этому моменту мы будем иметь уже отраженную волну m'Pm", при чем $s'n'=p'm'$ и $s''n''=p''m''$.

Отраженная волна будет иметь приблизительно круговую форму с центром S,—это будет „изображение“ источника волн S в вогнутом „зеркале“ QPT. Это изображение часто называется „фокусом“. Можно показать, что если мы источник волн поместим в S, то „изображение“ или „фокус“ окажется в S. На рисунке 69 изображен случай отражения т. н. плоских волн. Такую плоскую волну AB можно рассматривать, как часть круга очень большого радиуса, так что можно говорить, что „источник“ этой волны лежит где-нибудь очень далеко по направлению PO. Мате-

матик сказал бы, что в этом случае источник волн лежит „бесконечно“ далеко. Отраженные волны собираются в этом случае в точке F, делящей радиус нашего зеркала ОР пополам. Точка F носит название „главного фокуса“ нашего зеркала.

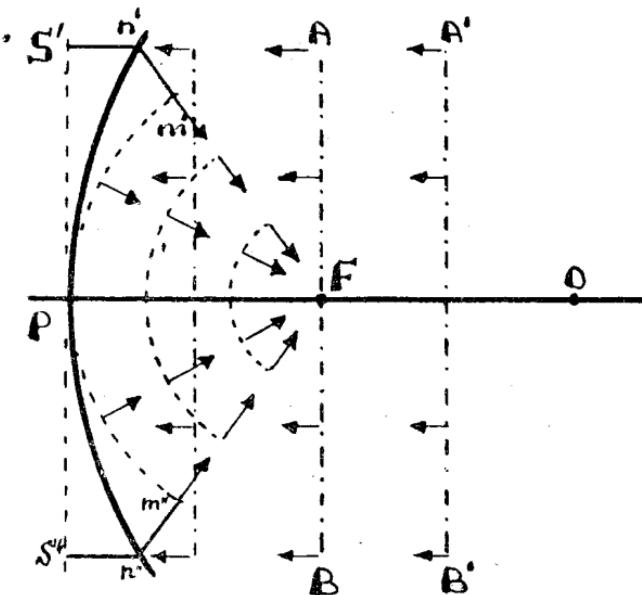


Рис. 69.

Из сказанного ясно, как можно отыскать главный фокус. Направим вогнутое зеркало на солнце — солнце ведь очень далеко от нас — и поищем бумажкой такое место перед зеркалом, где изображение солнца будет всего меньше, и где бумажка быстрее всего за-

горится; мы таким образом находим главный фокус; измерив расстояние фокуса до вершины зеркала Р и умножив это расстояние на 2, мы узнаем величину радиуса вогнутой поверхности нашего зеркала.

В главном фокусе собираются все волны, попадающие на зеркало, идущие из очень удаленного источника, оттого там получается большой жар. Это и оправдывает самое название „фокус“, так как по латыни это слово означает костер, очаг. Нетрудно показать, что если мы поместим в главном фокусе источник волн, то после отражения мы будем иметь ряд плоских волн, идущих по направлению РFO. Этим пользуются, когда надо пустить свет вдаль: так в автомобильных и паровозных фонарях источники света ставят в фокусе вогнутых зеркал, отчего свет распространяется вперед, освещая путь на далекое расстояние.

Проделаем теперь ряд опытов. Установим друг против друга два вогнутых зеркала. В фокусе одного из них мы

ставим т. н. „чувствительное“ пламя, т.-е. пламя газа, получающееся над сеткой ММ (см. рис. 70), под которую подвешена трубка, соединенная с мешком, наполненным светильным газом. Если постепенно увеличивать давление на мешок с газом, пламя вытягивается в вышину и при некотором давлении начинает издавать характерный шум. Тогда давление слегка убавляют, чтобы шум исчез.

Такое пламя легко отзывается на высокие, пронзительные звуки. Я приближаю к самому пламени свисток, издающий весьма неприятный пронзительный звук, и вы видите, как пламя с шумом начинает прыгать вверх и вниз так, что, я полагаю, это заметно во всей аудитории. Я отодвигаю свисток, действие его на пламя прекращается, но когда я помещаю свисток в главном фокусе второго зеркала II, стоящего против первого (см. рис. 70) —

пламя резко отвечает на звук свистка. Таким образом, волны звука отражаются от вогнутых зеркал *так же*, как волны, бегущие на поверхности воды.

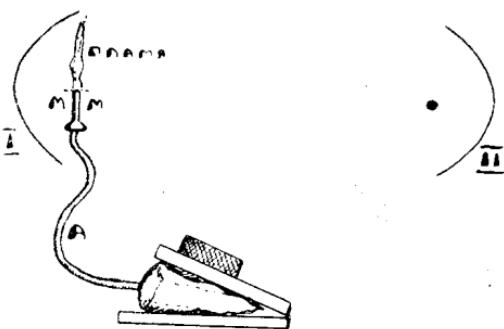


Рис. 70.

Уберем теперь чувствительное пламя и ставим на его место, т.-е. в фокусе зеркала, термоэлемент, т.-е. чувствительный термометр (см. I часть, лекция IX, стр. 144—147, рисунки 94 и 96), а в фокусе II-го зеркала помещаем нагретый на газовой горелке кусок латуни. Вы сейчас же замечаете на стене большое перемещение светлого пятна (луч, отраженный от зеркальца измерительного электрического прибора), показывающее, что термометр наш сильно нагревается. Я вывожу немного из фокуса кусок латуни, и вы видите, как быстро остывает термометр: пятно света (см. I часть, рисунок 95) возвращается в прежнее положение.

Таким образом, невидимые тепловые „лучи“, испускаемые накаленным телом, отражаются от зеркала *так же*, как отражаются волны, бегущие по воде. Наконец, поставим перед вогнутым зеркалом электрическую лампу и с помощью пе-

редвижного экрана поищем, где будет изображение лампы. Я передвигаю экран взад и вперед: вот теперь, я думаю, вы все видите изображение лампы. Заметим теперь мелком на столе, где стояла лампа и где стоял экран. Ставим лампу на то место, где стоял экран, и экран на место лампы, но ставим экран так, чтобы он не загораживал вполне лампы от зеркала. Вы видите—на экране появилось изображение. Таким образом, с источником света выполняется вывод, который можно доказать для волн, а именно, что можно обменять места источника волн и его „изображения“. Теперь остановим наше внимание на одной подробности. Почему мы в качестве источника звука брали свисток с таким пронзительным свистом? Вспомним, что было нами выяснено на прошлой лекции. Мы видели, что чем звук пронзительнее—чем „выше“ он, тем больше частота колебаний, вызывающих этот звук, и тем более короткие волны он в свою очередь вызывает в окружающей его среде. Если бы мы получили более длинные волны—волны по размерам большие, чем размеры наших зеркал, то наши зеркала не служили бы препятствием для распространения волн; волны обходили бы эти препятствия. Положим, по пруду бежит мелкая рябь; опустим в пруд плашмя доску; за доской вода будет спокойна,—мелкая рябь будет задержана доской: она не будет огибать доску сколько-нибудь заметным образом. Представим себе теперь громадные океанские волны; если бы даже мы и могли удержать от их напора доску, то совершенно ясно, что доска их не отразит, и волны, беспрепятственно обогнув доску, пойдут дальше. Отсюда мы делаем вывод, что если свет представляет собой волнообразное движение, то эти волны должны быть значительно меньше, чем те зеркала, которыми мы пользуемся, а так как мы уже пользовались в разных приборах очень маленькими зеркалами, то размеры световых волн должны быть очень невелики. Мы увидим, что волны света действительно очень малы.

К чему же сводятся наши доказательства волнообразной природы света? Мы показали, как отражаются от зеркала волны там, где существование волн не подлежало сомнению, и показали, что свет отражается совершенно таким же способом. Такое доказательство, однако, может не без основания показаться не очень убедительным. Может быть, ведь,

свет и отражается по тем же законам, как и волны, и в то же время, может быть, свет и не представляет собой волнобразного движения? Два процесса могут быть сходными в каком-либо одном отношении, но они могут в то же время и сильно отличаться друг от друга. Однако приведенное нами доказательство далеко не единственное.

Познакомимся с другой цепью фактов.

Начнем опять с резиновой трубки. Если я буду непрерывно колебать свободный конец трубы, то на трубке получится непрерывный ряд волн, бегущих от моей руки, и

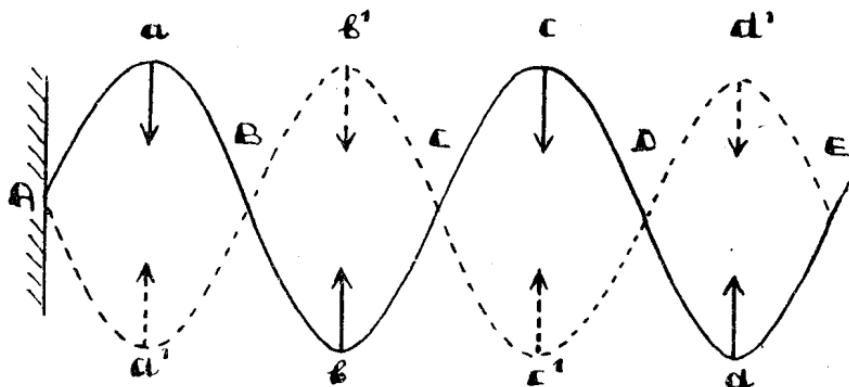


Рис. 71.

непрерывный ряд волн, отраженных от закрепленного конца трубы—ряд волн, бегущих навстречу, т.-е. по направлению к моей руке. Эти два ряда волн, слагаясь между собой, дают начало явлению т. н. „стоячих“ волн (см. рисунок 71). Трубка движется так, что когда части ее между АВ (рис. 71) движутся вниз—между ВС они движутся вверх и т. д., когда же трубка изогнется по линии Аа' Вв' Сс' Дд' Е, то движение начинается в противоположную сторону, как показано на рис. 71 стрелками. На движущейся трубке мы видим области А, В, С, Д и Е, где движение отсутствует—это т. н. „узлы“; в промежутках между ними аа' bb' cc' мы имеем наиболее сильное движение — это т. н. „пучности“ стоячей волны. Нетрудно убедиться, рассматривая (рис. 71), что расстояние от узла до следующего узла, или от пучности до следующей пучности, равняется как раз половине длины волны, т.-е. расстоянию, на котором укладывается гребень и следующая за ним долина распространяющейся волны.

Можно ли получить стоячие волны звука и света?

Посмотрим сначала, как получаются стоячие звуковые волны. Для этого мы воспользуемся простым прибором, носящим название „трубки Кундта“ по имени изобретателя, знаменитого немецкого физика Августа Кундта. Прибор состоит в следующем. Стеклянная трубка ВВ' (рис. 72) закрепляется по середине в D с помощью особого зажима. На конце В укрепляется с помощью сургуча пробковая пластинка. Если мы будем теперь натирать между D и В' мокрой тряпкой¹⁾,

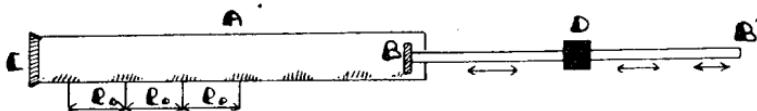


Рис. 72.

то трубка начинает издавать резкий звук; это происходит потому, что трубка ВВ' начинает колебаться так, что все ее частицы начинают двигаться взад и вперед по направлению ВВ', при чем наибольшие размахи делают частицы, расположенные на концах В и В'. Таким образом, пробка, укрепленная на конце В, будет передавать колебания воздуха, которые, пойдя по трубе А (см. рис. 72), дойдут до закрытого конца С, отразятся и пойдут навстречу. Мы получаем, следовательно, как раз условия для образования стоячих волн. Для того, чтобы сделать колебания частиц воздуха видимыми, дно трубы А посыпается пробковыми опилками (для того, чтобы опыт удался, необходимо, чтобы трубка и опилки были тщательно высушены). Что значит, что в трубке устанавливаются стоячие волны? Это значит, что в трубке у нас будут области, где будут т. н. узлы, т.-е. будет отсутствие движения—пробковые опилки останутся в покое. В промежутках же, в т. н. „пучностях“—частицы воздуха будут всего сильнее двигаться—это движение передастся пробковым опилкам, и они будут разбросаны в разные стороны. Производим опыт: вы видите, какое у нас получилось правильное чередование узлов и пучностей. Расстояние от узла до узла, как мы видели, равняется половине длины волны. Поэтому трубка Кундта позволяет очень удобно производить измерения длины волны. Необходимо отметить, что стоячие волны

¹⁾ Трубку ВВ' можно взять металлическую, тогда ее для получения звука следует натирать куском шерстяной материи, посыпав ее предварительно толченой канифолью.

получается только тогда, когда между С и В волны укладываются так, что в С получается узел, а в В—пучность, поэтому, когда прибор устанавливают, приходится надвигать трубку А и подбирать такое положение, при котором фигуры на пробковых опилках получаются всего лучше.

Опыт со стоячими волнами света я, к сожалению, не могу воспроизвести на ваших глазах, поэтому придется ограничиться рассказом. Стоячие волны света впервые удалось получить О. Винеру в Лейпциге в 90-х годах XIX столетия. Винер пропускал свет определенной цветности, скажем, красный, зеленый или синий, на зеркало АВ (рис. 73). От зеркала свет отражается; отраженный свет встречается с падающим: таким образом, если свет действительно представляет собой волнобразное движение, то мы должны получить стоячие волны. Пусть CD, C'D' и C''D'' представляют области, где располагаются пучности. Винер прислонял к зеркалу тонкую стеклянную пластинку с чувствительным фотографическим слоем.

Большое затруднение заключалось в том, как приготовить пластинку, чтобы она была чувствительна к свету и в то же время была почти прозрачна для света, так как свет к зеркалу должен идти через нее. Преодолев эти затруднения, Винер заметил, что пластинка чернела только там, где получались пучности р, р' и р''. В промежутках же—в узлах—свет не действовал: там получалась темнота, и фотографическая пластинка не подвергалась какому-либо изменению. Однако, темные полосы р, р' и р'' со светлыми промежутками можно было наблюдать только под микроскопом. Насколько малы расстояния между пучностями, настолько, следовательно, малы длины волн: они ведь, как мы видели, вдвое превышают расстояния $cc' = cc''$. Эти опыты в полном согласии с другими, о которых мы здесь не имеем возможности распространяться, показали, что длина волны, соответствующая красному свету, равняется приблизительно 0,00007 сантиметра, т.-е. около семи стотысячных долей сантиметра. Длина волны, соответствующая

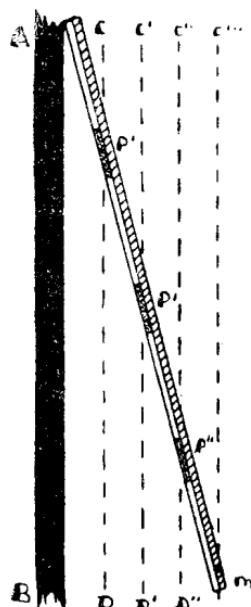


Рис. 73.

свету сине-фиолетовой окраски, будет почти вдвое меньше: именно около 0,00004 см.; волны, соответствующие остальным „цветам радуги“, располагаются в промежутке между этими пределами. Это, конечно, уже более убедительное доказательство волнообразной природы света, чем те, которые мы приводили раньше; однако, не ограничиваясь этим, мы познакомимся сейчас еще с одним явлением, из которого также с несомненностью вытекает волнообразная природа света.

Мы видели, что для того, чтобы любое зеркало могло служить препятствием для распространяющихся волн, оно само должно иметь размеры, значительно превышающие размеры самих волн. Тогда и только тогда волна не будет огибать это препятствие, и за ним образуется „тень“, т.-е. не будет волнообразного движения.

Если же мы поставим на пути света т. н. „решетку“, т.-е. поставим стеклянную пластинку, на которой нанесены видимые только в микроскоп полоски¹⁾, то волны света будут огибать эти, черточки, и мы будем наблюдать явление огибания малых препятствий волнами света—явление „дифракции“ света. Дифракция и значит с латинского „отклонение“, подразумевается—с прямолинейного пути, по которому бегут световые волны. Чтобы выяснить себе действие решетки, воспользуемся простой моделью, построенной по мысли покойного профессора Московского Университета Н. А. Умова. Пусть на решетку а, в, а, в (см. рис. 74) падает плоская волна света АВ. Цветные полоски I и II представляют собой волны, прошедшие через два последовательные отверстия в, в, в нашей решетке. Допустим, что мы наблюдаем свет по тому же направлению, откуда приходят волны АВ. Наша модель показывает нам, что обе волны и I и II придут к месту наблюдения одновременно, т. е. когда от волны I

¹⁾ Роландом в Америке была построена специальная машина для изготовления подобных „дифракционных“ решеток. Машина состоит из алмазного резца, который движется поперек стеклянной пластины, нанося на нее черту, после нанесения каждой черты резец с помощью особенно тщательно приготовленного винта подвигается вперед на несколько тысячных долей миллиметра, здесь наносится вторая черта и т. д. Машина работает автоматически, при чем она должна быть помещена в подвале, где температура поддерживается неизменной. Во время нарезания решеток к машине не подходят, так как тепло, выделяемое человеком, заставляет все части машины расширяться, и решетка выйдет с неравномерным распределением черточек.

придет гребень (на нашей модели светлая полоска), то и от волны II придет также гребень волны. Но ведь свет огибает такие малые препятствия, какими являются черточки нашей решетки, поэтому мы можем наблюдать свет не только по направлению, куда бежит волна AB, но и со стороны I' II'. А что там получится? Наша модель показывает, что в то время, когда волна I' принесет гребень, волна II' приносит свою долину. Действие двух волн уничтожается. Если мы отогнем наши полоски еще сильнее, то мы получим опять усиление действия двух соседних волн: т. е. и от I' и от II' будут одновременно приходить долина или гребень волны. Таким образом, если решетка освещена светом определенной длины волны, т. е. светом определенной цветности: красным, синим, желтым или зеленым светом, то лист бумаги, помещенный за решеткой, окажется испещренным светлыми и темными полосами.

При этом расстояние полос друг от друга будет тем больше, чем больше длина волны. В самом деле, если мы сделаем на полосах I и II более частое чередование светлых и темных

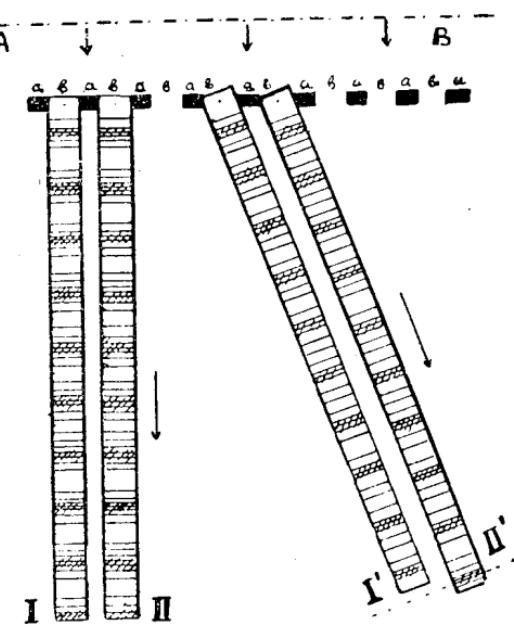


Рис. 74.

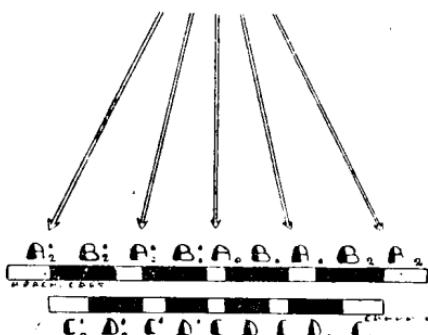


Рис. 75.

в сторону I и II, чтобы получить расхождение „долин“ и „гребней“. Словом, чередование светлых и темных мест на экране, стоящем за решеткой, будет более частое. Это схематически изображено на рис. 75 для красного и синего цветов. Если же на решетку падает белый свет, состоящий (как мы увидим еще подробнее в дальнейшем) из всех „цветов радуги“, то на экране за решеткой получаются радужные полосы: для каждого цвета мы имеем различные места, где он усилен и ослаблен.

Переходим теперь к самим опытам. Я ставлю перед фонарем узкую щель, перед щелью помещаю красное стекло

и дифракционную решетку: поставим теперь на некотором расстоянии от решетки белый экран. Вы видите ряд красных полос, отделенных темными промежутками (см. рис. 76). Вставляем теперь зеленое стекло, т.-е. получаем свет, соответствующий более коротким волнам: вы видите—зеленые полосы располагаются ближе друг к другу (рис. 76); мы это отмечаем карандашем на белом экране. Наконец, синее стекло выделяет нам еще более короткие волны. Так как для каждого

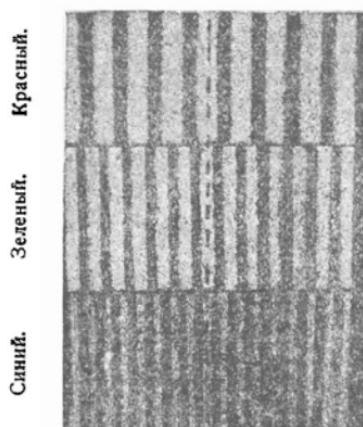


Рис. 76.

цвета мы получаем свое определенное место на экране, то ясно, что в том случае, когда свет у нас будет составной—белый, состоящий из всех цветов радуги,—мы получим радужные полосы, т. н. спектры. Я убираю синее стекло, пуская, следовательно, непосредственный белый свет фонаря, и вы видите, как у нас справа и слева от центральной белой полосы получаются т. н. дифракционные спектры. Почему в средине получилась белая полоса? Потому что там должны расположиться, как это видно из рис. 76, одновременно полосы всех цветов.

Вот это явление дифракции, с которым мы сейчас познакомились, нельзя себе об'яснить сколько-нибудь удовлетворительным образом иначе, как допустив, что свет есть волнообразное движение. Это есть одно из самых сильных доказательств в пользу волнообразной теории света.

В заключение я покажу вам один опыт, который напомнит вам явление дифракции света, которое вы, без сомнения, не раз наблюдали. Вместо щели мы ставим перед фонарем круглое отверстие В (рис. 77). С помощью собирательного стекла D, мы получаем на экране Е изображение этого отверстия. Пусть это круглое пятно изображает нам луну. Поставим теперь на пути света пластинку С, покрытую тонким слоем пыли (в качестве пыли можно использовать, например, споры плауна, т. н. „детскую присыпку“), вы видите, как вокруг нашей искусственной „луны“ появились хорошо вам знакомые радужные круги, которые мы все с вами часто наблюдали!

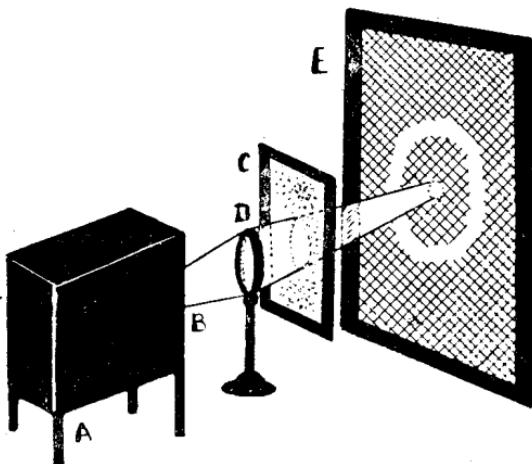


Рис. 77.

Здесь роль решетки играют пылинки, и так как они имеют форму не полосок, а скорее шариков, то у нас получаются круги, а не прямолинейные полосы. В природе роль пыли играют мельчайшие кристаллики льда или снежинки. Таким образом, мы воспроизвели сейчас искусственно одно из явлений природы.

Подводя итог всему, что мы успели сегодня разобрать, мы видим, что современная наука располагает довольно вескими доказательствами в пользу волнобразной теории света. Мы не могли исчерпать малой доли всех доказательств, какими сейчас располагают физики, но я думаю—из того немногого, что мы успели рассмотреть сегодня, для вас совершенно ясно одно: волнобразная теория света не фантазия оторванных от жизни теоретиков—это очень стройное учение, опирающееся на громадное количество фактов.

ЛЕКЦИЯ ДЕВЯТАЯ.

СОДЕРЖАНИЕ.

Состав белого света; цвета радуги. Явление преломления света и его объяснение. Получение спектра с помощью стеклянной призмы. Явление радуги. Преломление света в оптическом стекле. Призма прямого зрения. Спектроскоп. Невидимые части спектра: инфра-красные и ультра-фиолетовые лучи. Спектральные линии и их обращение. Принцип резонанса. Спектр солнца.

Разбирая доказательства волнообразной природы света, мы видели, что обыкновенный „белый“ свет состоит из всех цветов радуги, а каждомуциальному цвету соответствуют волны вполне определенной длины. На всем протяжении спектра или радуги—а мы прошлый раз с помощью дифракционной решетки наблюдали этот спектр—длина волны возрастает немного меньше, чем в два раза: длина волны красного цвета—0,00007 см., а сине-фиолетового—0,00004 см. С явлением спектра люди, вне всякого сомнения, познакомились раньше всего в самой природе: не найдется, я думаю, человека, который не видал бы радуги. Мы сейчас увидим, что способ получения спектра в радуге отличается от метода его получения с помощью дифракционной решетки. Самое явление радуги невольно приковывает к себе внимание, и, кроме того, подражая радуге, мы можем построить приборы для разложения белого света на составные элементы, т. н. спектроскопы, которые имеют громадное значение, как практическое для изучения химического состава тел—*это вы уже отчасти знаете из курса химии*¹⁾—так и теоре-

¹⁾ См. Я. С. Пржеборовский.—Введение в химию, I часть, издание Госиздата; II часть, изд. Комм. Унив. имени Я. М. Свердлова.

тическое: спектроскоп является одним из главных орудий в деле изучения материи и ее составных частей—атомов. Поэтому мы уделим несколько минут выяснению того, как получается спектр с помощью капель воды и с помощью призмы или нескольких призм, как это делается в спектроскопе.

Прежде всего покажем, что белый свет можно получить, складывая цвета радуги. Ставим на оси центробежной машины диск, раскрашенный в цвета радуги, осветим его ярким пучком света и начнем быстро вращать вокруг оси (рис. 78). Вы видите, как мы постепенно, по

мере ускорения вращательного движения, перестаем различать отдельные цвета, и у нас получается впечатление, как будто вращается кружок из белой бумаги. Происходит это потому, что впечатление в глазу сохраняется в течение некоторого времени. Поэтому, когда вслед-

ствие вращения красный сектор, переместившись, займет место зеленого, и его место займет синий, а потом фиолетовый — мы продолжаем видеть красный сектор

там, где он был раньше, но видим его и в новых положениях. Таким образом, при быстром вращении мы видим *все цвета разом во всех положениях*: от любой части окружности мы получаем впечатление зараз всех цветов спектра и непосредственно убеждаемся, что это есть впечатление белого цвета.

Посмотрим, что произойдет, если луч света попадает на границу, отделяющую воздух от стекла. Предположим, что эта граница проходит по линии АС (рис. 79), пусть фронт падающей волны занимает положение АВ. Предположим, что скорость, с которой бежит волна в стекле, меньше, чем в воздухе. Нетрудно сообразить, что в этом случае фронт волны должен повернуться. В самом деле, когда левый фланг В пройдет в воздухе большой путь ВС—правый, двигающийся значительно медленнее, пройдет более короткий путь АА₁. Новый фронт займет положение СА₁. То же самое про-

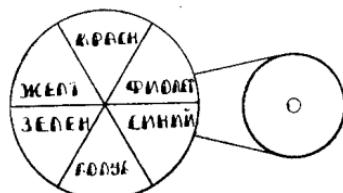


Рис. 78.

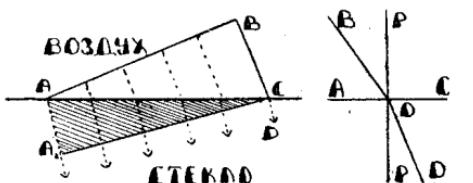


Рис. 79.

изойдет, если марширующая шеренга АВ с гладкой дороги попадет в песок, в котором вязнет нога; находящиеся на правом фланге первыми попадают в песок: их ход замедляется, в то же время левый фланг, продолжая двигаться по твердому грунту, забегает вперед. На рис. 79 рядом отмечено направление ВО, в котором двигался фронт в воздухе, и OD, в котором он двигается в стекле. Направления ВО и DO называются направлениями „падающего“ и „преломленного“

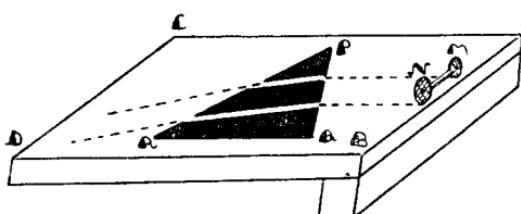


Рис. 80.

ABCD (рис. 80) врезается кусок бархата PQR в форме треугольника. На доску ставим катушку MN и с помощью установочного винта наклоняем доску так, чтобы катушка скатывалась по доске по направлению к CD. Достигнув границы PQ, катушка поворачивается, потому что колесо N тормозится раньше, чем M; на второй границе PR происходит второе подобное же „преломление“, так как колесо M выходит на полированную поверхность раньше,

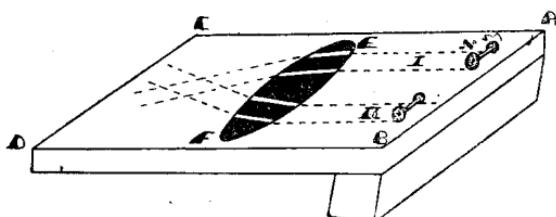


Рис. 81.

чем N. Следы колес, отмеченные на рис. 80 пунктиром, изображают ход лучей в призме. На другой модели (см. рис. 81) кусок бархата изображает т. н. „собирательное“ стекло¹⁾ EF в разрезе. Ставим катушку N сначала в положении I, а потом в положении II. Рассматривая пути, по которым пробежала катушка, мы без труда уясняем себе, почему „собирательное“ стекло „собирает“ лучи света. Так же, как и для вогнутого зеркала, мы можем для соби-

луча. Для сравнения начертен перпендикуляр POP к границе раздела воздуха и стекла. Проверим этот результат на простой модели. В

полированную доску

зится раньше, чем M; на второй границе PR происходит второе подобное же „преломление“, так как колесо M выходит на полированную поверхность раньше,

¹⁾ Стекла такого типа называются чечевицами или „линзами“ (слово линза по немецки означает чечевица), названы они так потому, что форма этих стекл имеет большое сходство с зерном чечевицы.

рательного стекла определить „главный фокус“, как место, где мы получим изображение „бесконечно“ удаленного источника света — скажем — солнца. Но только в этом случае связь между фокусным расстоянием, т. е. расстоянием главного фокуса от стекла и радиусом кривой поверхности стекла, будет сложнее, чем в случае вогнутого зеркала. Проверим теперь эти результаты на призме. Осветим с помощью электрического фонаря S (рис. 82) узкую щель P , закрытую красным стеклом A . С помощью собирательного стекла L получаем на стене против щели изображение этой щели S_1 . Если мы теперь поставим на пути призму Q , то изображение щели получается в S_k . Заменяя теперь красное стекло синим — изображение щели перемещается дальше в S_v . Почему? Потому что более короткие волны, соответствующие синему цвету, сильнее замедляются в стекле, чем красные: их фронт круче поворачивается: синий свет преломляется сильнее красного. Если мы теперь пустим белый свет, то мы одновременно получим изображения щели в разных цветах, при чем положение этих изображений будет различное: они вытянутся в радужную полоску или спектр, располагающийся между S_k и S_v . Таким образом, с помощью призмы так же, как с помощью решетки, можно получать спектр, т.-е. разлагать свет на его составные части.

Чтобы лучше выяснить, как получается радуга, попробуем воспроизвести ее искусственно. Для этого ставим перед фонарем A (см. рис. 83) большую стеклянную колбу K ; фонарь и колбу мы отгораживаем от аудитории непрозрачным экраном, чтобы свет, идущий непосредственно от фонаря, не слепил

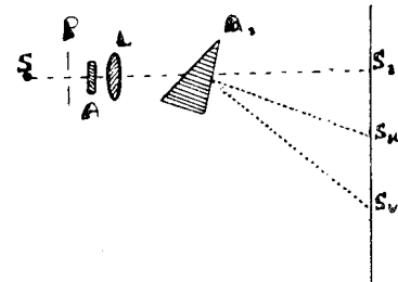


Рис. 82.

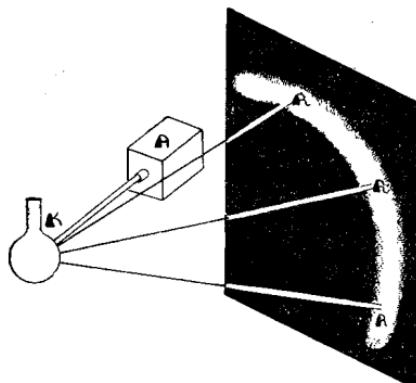


Рис. 83.

глаза. На схематическом чертеже 84 изображен ход лучей в колбе, изображающей каплю дождя. На самом деле, мы в

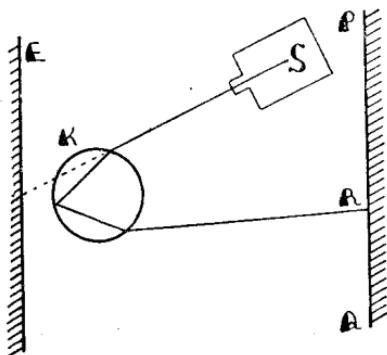


Рис. 84.

явлении радуги имеем дело с громадным числом капель; в нашем опыте у нас единственная капля, но за то, как вы сами видите, очень больших размеров! Вы видите теперь, как на белом экране фонарем (рис. 83) у нас появилась радуга! На рисунке 84 схематически изображено расположение наших приборов. У нас, к сожалению, нет времени останови-

вливаться на деталях явления радуги, но для вас теперь ясно, что раз мы это явление сумели воспроизвести, хотя и

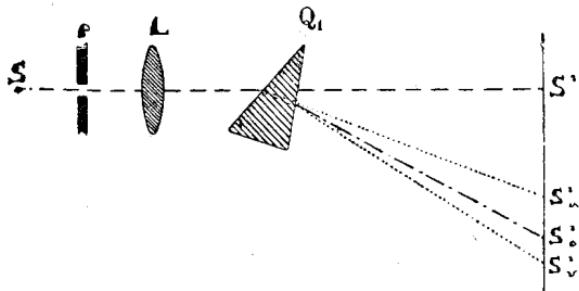


Рис. 85.

не в такой красивой форме, как мы его наблюдаем в природе, то мы самую суть явления уже поняли. Дело сводится к преломлению света в каплях, как показано

на рис. 84, и так как свет различной длины волн движется не с одинаковой скоростью в воде, то различные составные части света отклоняются каплями не одинаково.

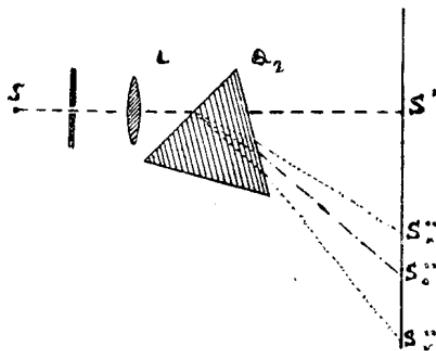


Рис. 86.

Рассмотрим теперь, как лучше всего получить с помощью призмы спектр. Пусть мы опять получили изображение щели на экране S' и S'' (рис. 85 и 86) и на пути поставили призмы Q_1 и Q_2 из стекол различного сорта, при чем у этих призм углы при Q_1 и Q_2 различные.

У этих двух призм,—а если

в нашем распоряжении имеются стекла различных сортов, мы этого можем добиться,—отклонение средней части спектра,

скажем, желтой его части, одинаково. Это значит, что расстояние $S' S'_D$ и $S'' S''_D$ одинаково. Но эти две призмы не в одинаковой степени рассеивают—раздвигают составные части белого света. Так, призма Q_3 дает большее светорассеяние или „дисперсию“, чем Q_1 , т.-е. $S'_v - S'_k$ меньше чем $S''_v - S''_k$. Спектр от призмы Q_3 больше растянут, чем от призмы Q_1 . Составим обе призмы вместе, но так, чтобы углы Q_1 и Q_2 были обращены в противоположные стороны (см. рис. 87).

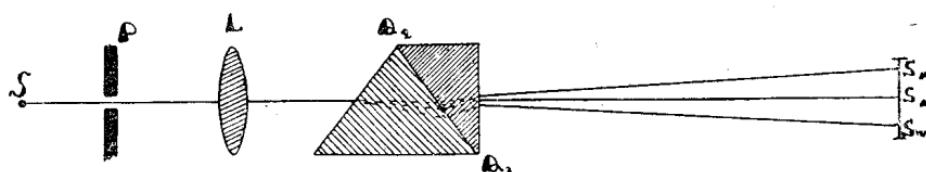


Рис. 87.

Тогда, насколько одна призма отклонит желтую часть спектра в одну сторону, настолько другая его отклонит в другую, и поэтому желтая часть спектра окажется прямо против щели, как будто никакой призмы вообще не было. Так как красный луч отклоняется сильнее призмой Q_1 , то он будет в результате действия двух призм смещен немного в сторону основания призмы Q_1 , как указано на рис. 87.

Таким образом, спектр, призма, щель и источник света получаются на одной прямой, это представляет большие удобства: можно расположить все эти приборы в одной трубке и сделать наш „спектроскоп“ переносным. Подобного рода инструменты называются спектроскопами „прямого зрения“, в отличие от тех, где призма отклоняет падающий на нее свет в сторону. Мы сейчас получим спектр с помощью такой сложной призмы, только у нас эта сложная призма состоит не из двух, а из 5-ти призм: три призмы сделаны из стекла одного и того же сорта, остальные две — из другого; такая сложная призма дает спектр более широкий, т.-е. цвета в нем сильнее раздвинуты, но самый спектр по-прежнему помещается перед щелью, так что источник света, щель, наша сложная призма и спектр помещаются на одной прямой линии (рис. 88).



Рис. 88.

Вы видите, спектр получился у нас довольно больших размеров и очень яркий—это вообще одно из самых красивых явлений, какие вообще мы можем показать в наших физических кабинетах. До сих пор еще держится предрассудок, что цветов спектра, цветов радуги семь: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий и фиолетовый! Но, взглянувшись в спектр, вы видите, что красная часть спектра вовсе не однородна: в одной только красной части мы можем отметить большое число оттенков. В старину число семь считалось священным: насчитывали семь вселенских соборов, семь грехов смертных и т. д., а потому во что бы то ни стало старались доказать, что и у радуги семь цветов! Но вы видите, что на самом деле их гораздо больше. Далее, не трудно показать, что спектр не ограничивается той цветной полосой, которую мы все с вами сейчас наблюдаем. Спектр не оканчивается так резко с красного и фиолетового конца, как нам это кажется.

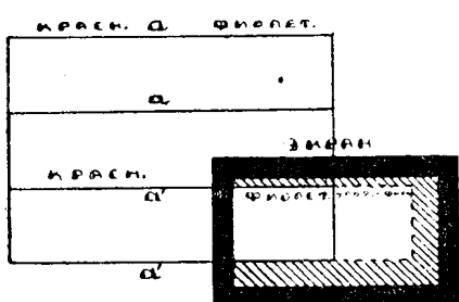


Рис. 89.

Я беру лист картона, покрытый слоем химического соединения, носящего название платино-синеродистого бария, и помешаю его в сине-фиолетовую часть спектра. Вы видите, как этот слой, имеющий жёлтую окраску, начинает ярко светиться

бледно-зеленым светом. Я отодвигаю лист картона (экран) все дальше и дальше за пределы фиолетового конца спектра, свечение, однако, не прекращается, хотя оно и слабее. Двигая экран вверх и вниз, мы убеждаемся, что светящаяся полоса сверху и снизу так же резко (рис. 89) ограничена, как и в видимой части спектра a , a' (см. рис. 89). Таким образом, за фиолетовой частью спектра, где наш глаз ничего не видит, располагаются невидимые лучи — эти лучи носят название ультра-фиолетовых. Эти лучи соответствуют очень коротким волнам, начиная от 0,000035 см. и меньше; они действуют на фотографическую пластинку и, хотя и не вызывают в глазу впечатления света, очень вредно влияют на глаза, вызывая ослабление зрения вплоть до полной слепоты.

поты, если источник света содержит их в большом количестве. Надо заметить, что мы производили опыт в крайне неблагоприятных условиях: мы пропускали свет от фонаря через несколько стеклянных призм, в сильной степени задерживающих ультра-фиолетовые лучи. Чтобы получить более отчетливый спектр в ультра-фиолетовой его части, можно взять дифракционную решетку, хотя она тоже нанесена на стекле, но в этом случае слой стекла значительно тоньше. Еще лучше будет результат, если мы стеклянную призму или решетку заменим призмой из кварца (горный хрусталь). Кварц хорошо пропускает ультра-фиолетовые лучи.

Поставим теперь в спектр термоэлемент (чувствительный электрический термометр, см. I часть, лекция IX, стр. 144, 145), при чем мы его поставим ближе к фонарю так, чтобы он был ярче освещен, т. к. лучи еще не так сильно разошлись, как это имеет место на белом экране, на котором мы наблюдаем спектр. Спектр мы нарочно получили больших размеров, чтобы его удобнее было наблюдать издали. На фоне этого спектра вы видите тень от термоэлемента и ясно видите, какими лучами он освещен¹⁾. По перемещению светлого пятна на стене (свет, отраженный от зеркала гальванометра) мы судим о степени прогревания термоэлемента. Пока наш прибор находится в фиолетовой и синей части спектра,—мы хорошо это видим, так как прибор отбрасывает тень именно в этой части спектра—нагревание очень слабое, волны, соответствующие фиолетовой и синей части спектра, обладают сравнительно небольшой энергией. По мере приближения к красной части нагревание становится все сильнее и сильнее, и, наконец, вы видите, что наш прибор вышел из пределов спектра: он не отбрасывает тени на спектре—мы его поместили за красным концом спектра, но как раз именно теперь мы получаем очень сильное отклонение светлого пятна на стене, показывающее, что нагревание стало особенно сильным. Это—действие т. н. „инфра-красных“ волн, не действующих на наш глаз, но вызывающих нагревание. Такого рода волны можно получить от раскаленного, но еще не светящегося тела. Эти именно волны мы получали от раскаленного куска

¹⁾ Этот наглядный прием предложен П. И. Мартыновым, преподавателем института народного хозяйства имени К. Маркса в Москве).

латуни прошлый раз, когда изучали явления отражения от вогнутого зеркала. Итак, источник света, в данном случае электрическая дуговая лампа, дает нам не только видимый свет, но и невидимые ультра-фиолетовые и инфра-красные волны. Тщательные исследования показали, что протяжение спектров этих невидимых волн значительно превышает протяжение видимого спектра. Расчет показывает, что в обычных источниках света (свечи, керосиновая лампа, электрическая лампа накаливания) на волны видимого спектра приходится сравнительно небольшая доля всей энергии, большая часть идет на инфра-красную часть и в освещении не принимает участия. Чем выше температура источника света (дуговые лампы, полуваттные), тем экономнее этот источник в том смысле, что тем больший процент энергии идет на видимую часть спектра. Самый экономный источник света, однако, это аппарат светящихся червячков! В дарвиновом процессе естественного отбора выжить могли только такие организмы, которые на свой осветительный аппарат не так уже много тратили энергии!

Рассмотренные нами сейчас явления представляют большой философский интерес. Мы можем говорить о „невидимом“ свете, т.-е., оказывается, мы можем изучать строго научным путем такие предметы, такие явления, которые не действуют ни на один из наших органов чувств. Таким образом, разлетаются в пух и прах все рассказы о пределах познания, о том, что для человека доступно только то, что он непосредственно ощущает, что—каковы на самом деле окружающие нас вещи, каковы „вещи в себе“, мы так и не узнаем. В самом деле, пока мы не знали существования ультра-фиолетовых волн, они для нас как бы не существовали, тогда как они на самом деле испускались и солнцем, и звездами, и молнией. Теперь, когда мы их открыли и изучили, мы их стали применять на практике—ультра-фиолетовым „светом“ пользуются для лечения кожных заболеваний, для обеззараживания питьевой воды и т. д. „Непознаваемая вещь в себе“ превратилась в хорошо доступную нам „вещь для нас“. Поэтому то, что философы называют „непознаваемым“, на самом деле есть только „еще не познанное“.

Современная физика на каждом шагу показывает нам, что пресловутые „границы познания“ непрерывно отодвига-

ются и что на самом деле их не существует, так как то, что вчера казалось недоступным, завтра оказывается превзойденным.

Далее, разобранные нами явления все вместе дают хороший пример на переход количества в качество. Мы видели, что свет представляет волнобразное движение. Как волны видимого, так и невидимого света, распространяются не в воздухе, так как они проходят через безвоздушное пространство; но если есть волна, то должно же быть то, что волнуется; таким образом, мы приходим к необходимости допустить существование особой среды—эфира. Эти волны в эфире обладают различными качествами в зависимости от длины волны. Длинные волны соответствуют невидимым инфра-красным лучам, более короткие—красным и т. д. Изменяется количество—длина волны, и на разных ступенях получаются разные качества: красный, оранжевый, желтый и т. д.

Еще одна характерная особенность: глядя на спектр, вы не сможете сказать, где, скажем, желтый цвет переходит в зеленый. Здесь природа дает нам весьма наглядный урок диалектики. В природе не существует резких переходов. Мы можем указать, где находится желтый и где зеленый цвет, но где один переходит в другой—определить невозможно. Сходный с этим пример приводит Плеханов; он предлагает определить момент, когда человек, теряющий волосы, становится лысым. Это сделать никто не в состоянии, и так всегда бывает, когда мы имеем дело с *чем-то изменяющимся—с процессом*. В этих случаях формальная логика, требующая ответа: да, нет, лысый или нет, бессильна; тут приходится говорить и да и нет, и лысый и нет, потому что это как раз время, когда человек с волосами становится лысым. Точно также и в нашем примере мы подходим к области, где желтый цвет переходит в зеленый; нельзя сказать, где кончается один и начинается другой.

На применениях спектра к анализу химического состава мы не будем долго останавливаться, так как эта область уже затрагивалась на лекциях по химии. Прежде всего, если мы имеем какое-либо окрашенное тело, притом прозрачное, мы можем поставить его перед щелью спектроскопа и посмотреть, какой получится спектр. Мы сейчас же замечаем, что целый ряд цветов в спектре исчезает, заменяясь темными полосами. Окра-

шенное тело некоторых цветов не пропускает, волны, соответствующие этому цвету, поглощаются, они раскачивают атомы, из которых это тело состоит, и нагревают его. Тело, окрашенное в черный цвет, поглощает волны всевозможных длин, от этого оно сильнее всего и нагревается. Опыт показывает, что одна и та же окраска (на глаз), полученная различными веществами, дает различного вида спектры. Спектр, полученный при пропускании через прозрачное окрашенное тело, называется спектром поглощения. По виду спектра поглощения можно определить, каким веществом была произведена окраска. Изучение спектров имеет большое значение в красильном деле и при исследовании пищевых веществ и их подделок.

Спектр пламени и раскаленного газа имеет совсем другой вид. Вместо радужной сплошной полосы мы получаем ряд узких цветных полос,—т. н. линейный спектр. По расположению в спектре и числу этих полос можно определять, какие именно вещества находятся в светящемся газе¹⁾. Спектр газов можно изучать еще и иным способом, именно можно пропускать электрический ток через трубы, наполненные тем или другим газом, в сильно разреженном состоянии. В спектре, получающемся при исследовании этого свечения, видны характерные для данного газа или смеси газов „спектральные линии“.

Подобные спектры наблюдают астрономы в т. н. туманностях, где вещество находится еще в том раскаленном состоянии, в котором когда-то находилась наша солнечная система и наш земной шар в том числе. Точно также линейный спектр наблюдается во время полных солнечных затмений, когда из-за диска луны выставляется наружная газообразная оболочка солнца.

В спектре же солнечного света и в спектре звезд мы видим на фоне знакомого уже нам непрерывного спектра ряд темных полос, и притом эти полосы лежат как раз в тех местах, где лежат светлые полосы в спектре светящихся газов и паров. Это явление не трудно воспроизвести. Если в газовую горелку внести поваренной соли (хлористого натрия) или, что еще лучше, входящего в состав

¹⁾ Подробности см. Я. С. Пшебровский.—Введение в химию. Часть II, стр. 152.

этой соли—металла натрия, то в спектре получается узкая желтая линия (в сильных спектроскопах, состоящих из большого числа призм, эта линия раздваивается: на самом деле, значит, мы имеем две линии). Если мы пропустим свет от яркого источника — дуговой электрической лампы — через это пламя, окрашенное парами натрия, то, как вы сейчас видите, в спектре получается черная полоса в желтой части спектра, именно там, где помещалась раньше желтая полоса в спектре паров натрия. Отчего полоса черная? Оттого, что пар натрия поглощает — и мы сейчас увидим почему — волны, соответствующие тому самому желтому цвету, какой он сам испускает. Взамен поглощенного он сам дает значительно более слабый свет по сравнению со светом дуговой лампы, оттого полоса нам и кажется темной.

Температура пламени горелки значительно ниже температуры вольтовой дуги, а оттого и напряжение света, испускаемого горелкой, значительно меньше, чем у вольтовой дуги.

На солнце и на звездах как раз имеют место подобные условия. Горячее, накаленное ядро окружено более холодной оболочкой газов и паров. Так объясняются темные линии в спектре солнца и звезд. Мы объяснили это явление и воспроизвели его искусственно. Но почему, однако, пары натрия, испускающие желтый свет, поглощают именно желтый же свет, как раз той же самой длины волны?

Рассмотрим следующую модель. На натянутой веревке подвешен ряд маятников различной длины (см. рисунок 90). Я раскаиваю маятник A; через некоторое время начинает сильно раскачиваться маятник A¹, такой же точно длины как

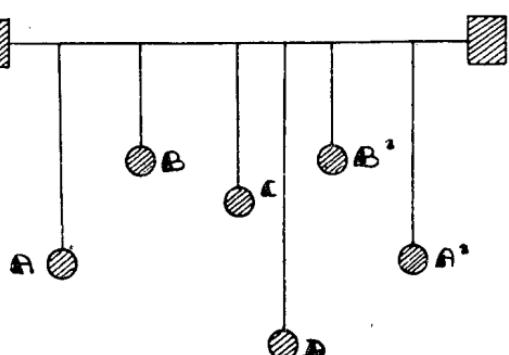


Рис. 90.

и A — остальные маятники висят спокойно. Наблюдаемое нами здесь явление есть явление „резонанса“. Почему отзывается маятник A¹, имеющий ту же длину, что и A, и, следовательно, тот же самый период колебания (время полного размаха —

период колебания—у того и другого маятника одинаковы, остальные имеют другие периоды), а другие висят спокойно? Потому что при колебании маятника А—закручивается веревка, на которой висят маятники, то в ту, то в другую сторону; закручивающаяся веревка сообщает толчки всем маятникам. Но если время качания какого-либо из маятников не совпадает с промежутками между этими толчками, сильного колебания не получится; толчки, если можно так выразиться, будут приходить не во время. Так язык тяжелого колокола можно легко раскачать только тогда, когда мы будем давать ему толчки, *согласные* с его собственными колебаниями, т.е. будем толкать его тогда, когда он, приблизившись к нам, изменяет направление своего движения. Толчок навстречу движению будет только препятствовать этому движению. Согласие получится только тогда, когда период колебания раскачиваемого тела совпадает с промежутками между толчками. Поэтому волны, соответствующие желтому цвету паров натрия, сильно раскачивают частицы натрия: энергия волн переходит в энергию движения частиц пара натрия. Сами же колебания частиц натрия в более холодном паре не в состоянии дать взамен столь же могучих волн, какие ими были поглощены. Таким образом явление резонанса объясняет нам, почему в спектре солнца и звезд видны темные линии. Это же явление резонанса поможет нам разобраться в работе приемников более длинных волн эфира, которыми мы пользуемся в радио-телеграфе и радио-телефоне.

ЛЕКЦИЯ ДЕСЯТАЯ.

СОДЕРЖАНИЕ.

Процесс передачи электрического тока. Колебательное движение. Электромагнитные колебания. Резонанс. Как получить электромагнитные волны и как их обнаружить. Опыты с электромагнитными волнами. Радио-телефон. Применение катодной лампы. Свет как электромагнитное явление. Явление Зеемана. Обзор электромагнитных волн.

Мы переходим сегодня к изучению электромагнитных колебаний и волн. Эта область физики тесно связана, с одной стороны, с целым рядом весьма важных отраслей техники, как, например, радио-телефон и радио-телефон, с другой стороны—она неразрывно связана с одним из самых крупных обобщений теоретической физики, с доказательством того, что свет, световые волны представляют собой частный случай более обширного класса электромагнитных явлений.

Мы уж знаем, что когда по проволоке бежит электрический ток, то в металле, из которого сделана проволока, смещаются электроны. Это непосредственно вытекает из опытов Тольмана—Стюарта, о которых у нас уже была речь (см. лекция V стр. 76); в этих опытах часть замкнутой цепи, находящаяся в движении, внезапно тормозилась, тогда находящиеся в металле электроны продолжали двигаться по инерции. Движение электронов сопровождается всеми явлениями, наблюдаемыми при прохождении электрического тока. При этом движении электроны в конце концов сталкиваются с атомами металла, сообщая им часть своей энергии — таким образом энергия „тока“ переходит в энергию движения атомов, т.-е. тепло. Не надо думать, что при всяком электрическом токе каждый электрон обегает всю замкнутую цепь.

Движение одного электрона вызывает движение другого, находящегося на некотором расстоянии от него впереди, движение второго вызывает движение третьего и т. д., при чем быстрота передачи самого процесса движения не стоит в связи со скоростью движения каждого отдельного электрона. Так, каждый электрон в отдельности может двигаться медленно, но в то же время вслед за первым электроном, начавшим двигаться, второй, третий, четвертый и т. д., расположенные один за другим, начинают двигаться через очень короткие промежутки времени один после другого так, что очень скоро после начала движения первого вся вереница электронов, расположенная в проводе громадной длины, уже будет находиться в состоянии движения. Для того, чтобы это было ясно, рассмотрим следующий простой пример. Пусть на протяжении километра расставлены люди в одну шеренгу друг за другом в „затылок“ на расстоянии трех метров друг от друга—всего, значит, 333 человека от А до N (рис. 91), (на чертеже изображены места стоящих людей всего 12 чел.).

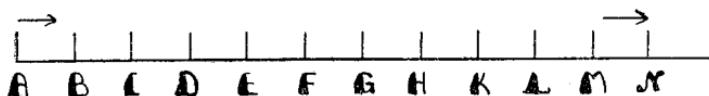


Рис. 91.

Представим себе, что в А дают команду „шагом марш“ настолько громким голосом, что команда хорошо слышна на расстоянии одного километра. Стоящие около А начинают двигаться по направлению к В тотчас же. Находящиеся же на расстоянии одного километра начнут двигаться *только через три секунды*, так как звук проходит километр (около версты) в три секунды¹⁾. Пусть через три секунды дается вторая команда „стой“. Находящиеся вблизи командира сейчас же останавливаются, пройдя за три секунды всего около трех метров. Находящиеся на расстоянии одного километра останавливаются через три секунды—до них звук команды идет три секунды, но пройдут они также около трех метров, так как в секунду при ходьбе человек проходит около одного

¹⁾ Мы видим вырывающийся из свистка отдаленного паровоза белые клубы раньше, чем слышим свист. Точно также мы раньше видим удар молотка кровельщика, сидящего на крыше, чем до нашего уха долеет звук от этого удара молотка.

метра. Отсюда ясно, что процесс движения по команде передавался со скоростью одного километра в три секунды (около 335 метров в секунду), тогда как каждый участвующий в этом движении двигался со скоростью одного метра в секунду.

Рассмотрим теперь, как можно получать колебательное движение; возьмем две сообщающиеся трубы, соединенные краном (рис. 92), при чем уровень в одной из них AB выше, чем в другой CD. Если мы быстро откроем кран Q, то вода начнет переливаться из 1-го колена во 2-е, при чем вода не сразу установится на уровне MN: она будет колебаться некоторое время около этого уровня. Переливающаяся из 1-го во 2-е колено вода по инерции поднимется выше уровня MN, а в 1 трубке опустится ниже, благодаря этому начнется обратный ток воды и т. д. Заметим, что здесь движение воды происходит по всей коленчатой трубке, но это вовсе не значит, как и в предыдущем примере, чтобы каждая частица воды бегала взад и вперед вдоль всей трубы. Частицы, находящиеся на уровне AB, пройдут самое большое путь до A' B', несмотря на то, что процесс движения воды распространяется на всю коленчатую трубку.

Подобным же образом можно получить и колебания электронов в том или другом проводнике. На рис. 93 изображен конденсатор (см. лекцию V) AB, состоящий из параллельных металлических пластинок, разделенных непроводящим слоем. В одну из пластин такого конденсатора можно „накачать“ электронов, выкачивая их одновременно из другой пластины.

Взаимное отталкивание электронов в B, затрудняющее дальнейшее накачивание, уравновешивается притяжением положительных зарядов в A, оставшихся после выкачивания электронов. Когда напряжение, обусловленное отталкива-

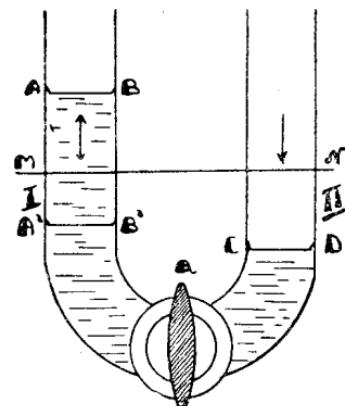


Рис. 92.

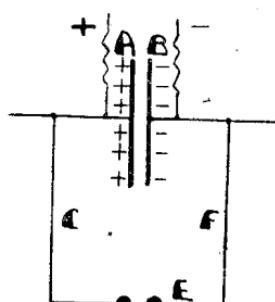


Рис. 93.

нием одноименных зарядов и притяжением разноименных, достигает известного предела, электроны пробивают непроводящий воздух, между шариками Е появляется искра, по которой электроны будут перетекать из В в А и обратно. Мы будем наблюдать колебательный процесс, похожий на колебания уровней воды в сообщающихся трубках. Колебания как частиц воды, так и маятника, вызываются „инерцией“. Движение продолжается после того, как наше тело достигнет состояния равновесия. Электроны же, как мы видели, обладают инерцией, таким образом и здесь колебательный процесс вызван той же причиной. Как мы докажем, что электромагнитные колебания действительно существуют? Прежде всего вспомним о явлении резонанса, которое мы разбирали на прошлой лекции. Чтобы напомнить, в чем состоит это явление, возьмем два одинаковых камертонов, стоящих на резонансных ящиках. Я беру тот, который стоит справа от меня, поднимаю его, прошу прислушаться, соблюдая полную тишину—никакого звука нет.

Я осторожно ставлю его на стол, беру второй камертон, ударяю его резиновым молотком и ставлю недалеко от первого.

Повторяю эту операцию несколько раз. Теперь, заглушив, как следует, второй камертон, который у нас только

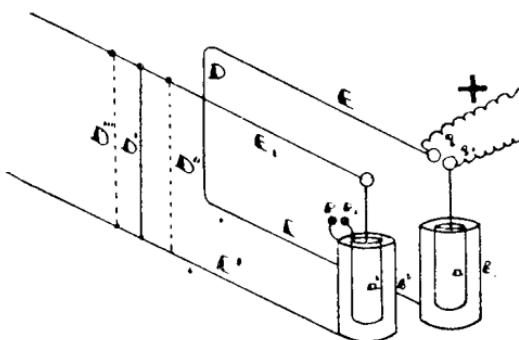


Рис. 94.

что сильно звучал, я поднимаю первый, и вы теперь ясно слышите звук. Первый камертон начал звучать под влиянием второго, потому что они точно „настроены“, т.е. оба испускают в точности один и тот же звук. Я расстраиваю первый,

надев на один из его свободных концов маленькую металлическую скобку. Повторяю опыт: никакого звука не получается. Теперь сделаем аналогичный опыт с электрическими колебаниями. Возьмем конденсатор в виде т. н. лейденской банки (стеклянная банка, обклеенная внутри и снаружи листовым оловом *a* и *b*, рис. 94). Эти обкладки играют ту же роль, что и пластины А, В (рис. 93). Обкладки *a* и *b* соеди-

няются с помощью проводов С D E и искрового промежутка q q. Возьмем второй подобный же прибор и поставим рядом с первым. Этот второй прибор отличается тем, что у него размер проволочной петли E' D' C' можно изменять, передвигая звено D' в любое положение D', D'', D''' и т. д. Искровой же промежуток pp₁ у него устроен вблизи обкладок a' и b'.

Если мы „настроим“ второй прибор на первый, т.-е. поместим подвижное звено так, чтобы длина E' D' C' в точности совпадала с E D C, то при возбуждении первого прибора, т.-е. когда первая банка заряжается каким-либо источником и разряжается через искровой промежуток q q₁—возбуждается и второй: между p p₁ видна искра. Стоит, однако, слегка расстроить наш „приемник“, передвинув немного в ту или другую сторону звено D', как сейчас же искра в pp₁ пропадает. Ясно, что здесь мы имеем дело с явлением резонанса, с явлением, сходным с тем, какое мы наблюдали сегодня на камертонах, а на прошлой лекции видели на маятниках. Какой мы можем сделать вывод отсюда? Колебания электронов взад и вперед по проволоке E D C вызывают в окружающем эфире электромагнитные волны. Мы говорим электромагнитные, потому что всякое движение электрических зарядов сопровождается магнитными явлениями. Эти волны, дойдя до проводника E' D' C', вызывают в нем колебания электронов, причем мы получим сильное колебание только тогда, когда за время одного полного колебания, вызываемого волной, процесс движения электронов успеет распространиться от одной обкладки a' через C' D' E' до b' и обратно. А это зависит от длины и расположения проволоки C' D' E' и от того, какой запас электронов может сосредоточиться на обкладках a и b или a' и b', что в свою очередь определяется размерами обкладок их, расстоянием друг от друга и свойством расположенного между ними непроводящего вещества. В этом случае, как и в разобранных нами раньше примерах, перемещение каждого электрона происходит на малом расстоянии. Время колебания или период колебания определяется не скоростью, с которой движется каждый отдельный электрон, а скоростью, с которой распространяется движение электронов; последнее можно сравнить со скоростью передачи „команды“, тогда

как скорость электрона можно сравнить со скоростью марширующих людей.

Если электромагнитные колебания вызывают в эфире волны, то нельзя ли заставить эти волны отражаться и преломляться на подобие световых? Воспроизведение с электромагнитными волнами всех опытов, какие раньше проделывались со светом, было выполнено Генрихом Гертцем в 1887—1888 году, а также и другими физиками, в числе которых был покойный проф. П. Н. Лебедев (его опыты были выполнены в Москве в 1895—1896 г.г.).

Для того, чтобы опыты можно было производить в более доступной форме, надо научиться получать короткие волны, так как тогда можно употреблять сравнительно небольшие вогнутые зеркала. Кроме того, необходимо решить, как и чем мы будем принимать эти волны. Устроить приемник с искрой, как это мы сейчас делали, неудобно: на больших расстояниях от источника получаются очень слабые искры; их не будет видно всем сидящим в аудитории. Мы сейчас воспользуемся несколько устаревшим приемником, но для наших целей достаточно удобным. Сначала, однако, посмотрим, что будет у нас служить источником волны или т. н. „вибратором“¹⁾. Вибратор можно устроить, присоединив к двум проводникам А и В две проволоки *a* и *b* (рис. 95а); шары на

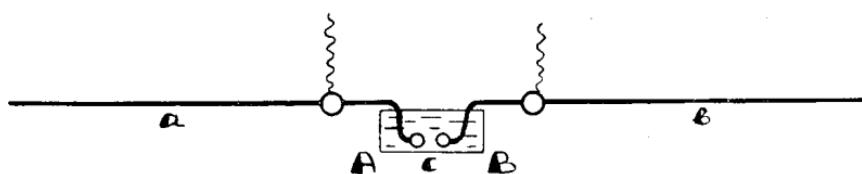


Рис. 95а.

концах А и В заключены в стеклянную трубку С наполненную керосином. Ток подводится к *a* и *b*. Когда А и В заряжаются, происходит искровой разряд в керосине. Для разряда в керосине требуется большое напряжение, и поэтому А и В заряжаются сильнее, чем в воздухе. Части А*a* и В*b* (рис. 95) играют ту же роль, что и обкладки (рис. 94) вместе с соединительными звенями CD. Роль искрового проме-

¹⁾ Вибратор значит „колебатель“.

жутка (рис. 94) играет искровой промежуток с в керосине (рис. 95а).

„Приемник“ (рис. 95в) построен так же, как и вибратор, только вместо керосина между А' и В' насыпаются серебряные опилки, а к А' и В' присоединяется цепь из гальванического элемента и электрического звонка. Сопротивление слоя опилок настолько велико, что звонок не звонит. Если на наш приемник пустить электромагнитные волны, то под их действием опилки слипаются друг с другом, цепь звонка замыкается, и

звонок звонит. Раз зазвонив, он продолжает звонить непрерывно. Поэтому, когда с помощью таких трубочек с опилками, называемых „когерерами“¹⁾, принимали радиотелеграфные сигналы, то их помещали так, что молоточек звонка ударял одновременно по трубочке, заставляя порошок рассыпаться. Тогда звон прекращается, и мы можем принимать новый сигнал. Теперь этот способ оставлен, и „когерерами“ более уже не пользуются, как „детекторами“, т. е. приемниками, обнаруживающими электромагнитные волны.

Поставим теперь „вибратор“ АВ (см. рис. 96) в фокусе вогнутого зеркала I. Против зеркала на некотором расстоянии помещаем

второе зеркало с когерером и цепью звонка. Япускаю в ход вибратор. Звонок, соединенный с когерером, звонит. Я прекращаю действие вибратора, разомкнув ток, подводящий к вибратору заряды; звонок продолжает звонить. Я ударяю пальцем слегка по трубке когерера, звон прекращается. Теперь мы ставим зеркала с вибратором и приемником под углом друг к другу (см. рис. 97): волны, вышедшие из вибратора, не попадают на приемник, звона нет. Я ставлю теперь лист латуни D так, чтобы волны, вы-

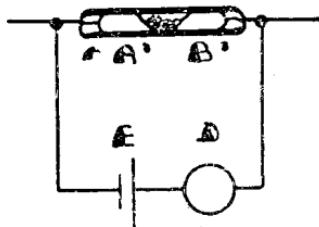


Рис. 95в.



Рис. 96.

найденные из вибратора, не попадают на приемник, звона нет. Я ставлю теперь лист латуни D так, чтобы волны, вы-

¹⁾ От латинского слова *cohereo*, что значит—прилипаю, слипаюсь.

шедшие из А, отразившись, пошли в В: звон возобновляется. Это показывает, что изучаемые нами волны отражаются

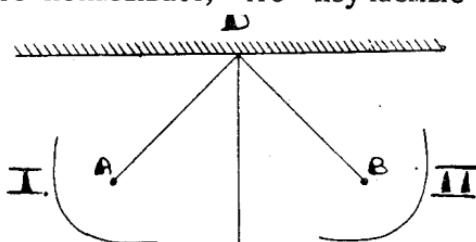


Рис. 97.

так же, как отражается свет. Ставим опять зеркала под углом: звона нет. Вдвигаем призму (рис. 98) из серы: звон возобновляется. Это показывает, что волны, выходящие из вибратора, преломляются

в призме так, как преломляются волны света. Все эти опыты показывают на связь—на сходство между светом и электромагнитными волнами.

Рассмотрим теперь модель радио-телефрафа, правда, не очень усовершенствованной конструкции! На краю стола

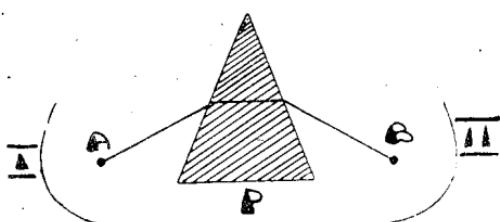


Рис. 98.

у нас стоит „отправительная станция“, представляющая собой „вибратор“ с искровым промежутком С (рис. 95а) в керосине, похожий на тот, которым мы поль-

зовались в опытах с отражением и преломлением, но имеющий более значительные размеры и, следовательно, испускающий более длинную волну. Наш вибратор снабжен длинными проволоками а и в, играющими роль „антенны“¹⁾ нашей отправительной станции.

Я могу, нажимая на ключ, подводить ток к вибратору и прерывать ток, прекращая нажим. На приемной станции (см. рис. 99), стоящей в самом удаленном углу аудитории, мы имеем „антенну“ приемной станции и в качестве „детектора“ (т. е. прибора, обнаруживающего присутствие волн) „когерер“ К с серебряными опилками. Для повышения чувствительности приемника в цепь с когерером введен не звонок, как это мы делали раньше, а электромагнит М, т. н. „рэле“. Рэле устраивается следующим образом. Перед электромагнитом М укрепляется железный якорь Q, оттягиваемый

¹⁾ Антenna по латыни значит мачта .

слабой пружинкой Р от полюса электромагнита. Когда в цепи электромагнита появляется слабый ток, якорь притягивается, оттягивая пружинку Р, и замыкает ток более сильный в цепи электрического звонка Z (цепь на рисунке отмечена пунктиром).

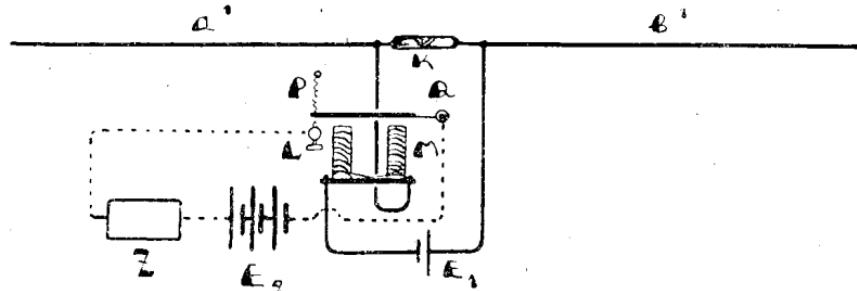


Рис. 99.

Что касается когерера, то он представляет собой большое сопротивление даже тогда, когда на него падают электромагнитные волны, особенно если они слабы. Сопротивление его не очень сильно уменьшается, и через когерер трудно получить достаточно сильный ток, чтобы привести в действие электрический звонок или телеграфный аппарат. Электромагнит же и пружинку рэле можно подобрать так, чтобы она легко и отчетливо производила замыкание цепи звонка, по которой идет более сильный ток. Отсюда ясно, что рэле усиливает передачу, дает возможность передавать сигналы на значительно более длинные расстояния. В цепь звонка включается второй молоточек, ударяющий о трубочку когерера и заставляющий порошок в когерере после каждого сигнала рассыпаться, поэтому прибор после каждого сигнала сейчас же готовится к приему следующего.

Я нажимаю и отпускаю попаременно ключ, и вы слышите чередующиеся звонки, то короткие, то длинные. Если знать наизусть алфавит Морзе, то можно принимать телеграммы на слух. Можно вместо звонка поставить аппарат Морзе, который с помощью электромагнита делает чернилами отметки на движущейся бумажной ленте.

Теперь вместо цепи со звонком присоединим к рэле электрический двигатель, питаемый городским током. Я нажимаю на ключ, и вы видите—двигатель приходит в движение, я отпускаю ключ—двигатель останавливается. Отсюда ясно, что с помощью радио-аппаратов можно управлять из-

дали любым двигателем. Можно, воспользовавшись явлением резонанса, устроить несколько приемников, настроенных на волны различной длины, и каждый из них связать с той или другой частью машины; имея же на станции отправления возможность пускать волны соответствующих длин, можно управлять издали довольно сложной машиной.

Вместо рэле в настоящее время пользуются так называемой „катодной лампой“, о которой у нас уже была речь (см. лекция VI), когда мы говорили об испускании накаленными телами.

Чтобы выяснить себе усиливающее действие катодных ламп, рассмотрим схему на рис. 100. С помощью батареи E_1

производится накаливание проволоки a . Проволока a соединяется с отрицательным полюсом большой батареи E_2 , положительный полюс этой батареи соединен с анодом А. В промежутке между анодом и накаленной проволокой в лампу впаяна сетка С.

Пусть сетка не заряжена; тогда в цепи батареи E_2 идет ток: испаряющиеся из накаленной проволоки a электроны притягиваются анодом и отталкиваются отрицательным зарядами,

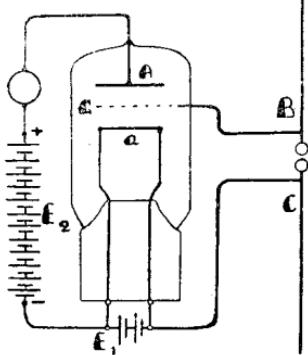


Рис. 100.

доставляемыми туда батареей E_2 . Представим себе теперь, что мы соединим проволоку a и сетку С с частями В и С приемника. Когда волны падают на приемник, то части В и С поочередно заряжаются, то $+$ то $-$. Если сетка заряжена $+$, то поток электронов от a к А заметно усиливается, наоборот, если сетка заряжена $-$, то поток задерживается. Оказывается, что очень слабые колебания заряда сетки вызывают громадные изменения силы тока в цепи aE_2 . Этим током можно воспользоваться для заряжения сетки второй лампы и еще раз усилить действие и т. д. Введение этих ламп в радио-технику позволило сразу осуществлять передачу на гораздо более значительные расстояния и вообще революционизировало все радио-телеграфное дело и дало возможность осуществить радио-телефон. Мы не останавливаемся сейчас на технических деталях, так как эти

сведения в настоящее время, благодаря растущему кругу радио-любителей, очень широко распространены.

Остановимся в заключение сегодняшней беседы еще на некоторое время на выяснении связи между светом и электромагнитными волнами. Мы видели, что электромагнитные волны отражаются и преломляются так же, как и волны света, но почему мы все-таки считаем, что световые волны электромагнитного характера?

Прежде всего удалось показать, что *электромагнитные волны распространяются с той же скоростью в 300.000 километров в секунду, как и световые*. Это, конечно, веское доказательство того, что обе группы явлений тесно между собой связаны. Но, конечно, было бы более убедительно, если бы мы могли искусственно получить световые волны. Мы видели, что, чем меньше размеры вибратора, тем короче испускаемые им волны. Нельзя ли уменьшить размеры вибраторов настолько, чтобы получить короткие волны такой же длины, как световые? Расчеты показывают, что размеры вибратора должны быть немного меньше размеров молекулы! Таким образом, прямой путь проверки для нас пока-что закрыт. Но мы все-таки имеем возможность доказать, что свет, испускаемый раскаленным паром или газом, обусловлен колебаниями электрических зарядов. Пусть электрон e (см. рис. 101) вращается вокруг положительно заряженного ядра A на подобие спутника вокруг планеты. Такое движение—круговое колебание— происходит с постоянным периодом, равным времени обращения „спутника“ вокруг „планеты“.

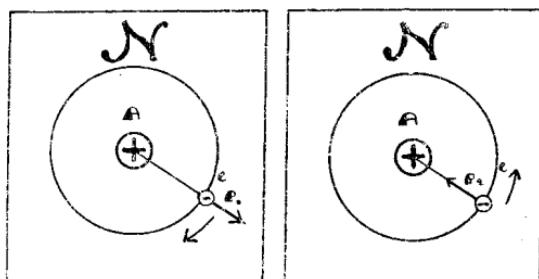


Рис. 101.

Свет, даваемый таким колебанием, соответствует какой-либо спектральной линии. Направление вращения может быть и по стрелке часов и в противоположном направлении. Поместим теперь наш источник света, дающий эту спектральную линию, в сильное магнитное поле и примем так, чтобы северный полюс N был за плоскостью чертежа.

Вспомним, что движущийся электрон представляет собой электрический ток и, кроме того, вспомним правило трех пальцев левой руки (за направление тока надо принять направление обратное движению электрона, так как мы раньше считали за направление тока направление движения положительного электричества, а электрон заряжен отрицательно!). Мы приходим к выводу, что на электрон в зависимости от направления движения будет в магнитном поле действовать сила P от центра или P_1 к центру. Таким образом, сила притяжения к центру в первом случае будет ослаблена, во втором—усиlena. Мы знаем, когда притяжение к центру усиливается, вращение становится более быстрым: когда мы вращаем камень на веревке, то, чем быстрее вращается камень, тем сильнее его надо тянуть к центру.

Какой получается у нас вывод? Мы получаем две новые спектральные линии; одна соответствует более медленным колебаниям, другая более быстрым. Эти линии будут отстоять друг от друга тем больше, чем меньше масса электрона, поэтому является возможность по спектральным измерениям определить массу электрона. Эти измерения в полном согласии с другими методами, о которых у нас уже была речь (см. лекции V и VI), дали то же отношение между массой атома водорода и электрона, т.-е число 1850. Опыты, о которых мы сейчас говорили, были впервые осуществлены проф. Зееманом в Голландии в 1896 году. Изложенное нами объяснение расщепления спектральных линий принадлежит одному из основателей теории электронов, голландскому физику Лорентцу. Все это показывает, что электромагнитная теория света приводит нас к тому, что свет вызывается колебаниями электрически заряженных частей атома.

Чтобы еще яснее представить себе связь между электромагнитными явлениями и светом, как видимым, так и невидимым, рассмотрим следующий воображаемый опыт. Пусть кусок мела, который я держу в руках, сильно заряжен электричеством, безразлично положительным или отрицательным, и пусть мне дана возможность сообщать этому куску мела сколь угодно частые колебания; в этом и только в этом заключается фантастическая сторона нашего воображаемого опыта. Если я буду медленно раскачивать заряженным мелом (делая по одному размаху в две-три секунды), то за движениями мела смогут „следить“ заряженные бумажные гильзы, висящие на шелко-

винках, вроде тех, какими мы пользовались, изучая электризацию при трении. Если число колебаний куска мела в секунду достигнет, скажем, 50, то гильзы повиснут: они не в состоянии так быстро качаться взад и вперед. Такие колебания осуществить, махая рукой, невозможно, но в проволоках, которые подводят городской ток к лампам и моторам, электроны колеблются как раз с такой же частотой. Увеличим число колебаний еще в 10 раз, т.-е. рассмотрим число колебаний 500 в секунду. С такой частотой колеблются электроны в телефонных проводах, когда мы говорим по телефону. Доведем число колебаний заряженного мела до $50,000$ или $5 \cdot 10^4$ ¹⁾.

Если бы мы могли осуществить такую частоту, то находящиеся в соседстве приемники радио-телефона начали бы отзываться. Увеличим еще частоту колебаний, доведя ее до $5 \cdot 10^{10}$ —это даст нам короткие электромагнитные волны, которые получал Лебедев: волны более короткие, чем те, которые мы сегодня заставляли отражаться и преломляться. Увеличивая частоту еще в 100 раз—мы получаем колебания частоты $5 \cdot 10^{12}$ —это дает нам „инфра-красные“ лучи, далее, увеличивая число колебаний до $5 \cdot 10^{14}$ и $5 \cdot 10^{15}$, мы пройдем через видимый спектр: из колеблющегося заряженного куска мела стал бы исходить ли бы свет попеременно всех цветов радуги, а при частоте в $5 \cdot 10^{15}$ мы получили бы невидимые ультрафиолетовые лучи. Далее, частота в 10^{18} дает лучи Рентгена и, наконец, 10^{21} —лучи, выделяемые радио-активными веществами, по свойствам своим сходные с рентгеновыми, но обладающие способностью проходить через еще более толстые слои металла. Все эти *качественно различные явления вызываются колебаниями электрических зарядов различной частоты: изменяется количество, число колебаний в секунду и соответствующая ему длина волны, а на разных ступенях этих изменений появляются все новые и новые качества.* После сказанного, я думаю, вам должно быть ясно, как велика область электромагнитных явлений, и вы сможете оценить смысл шутки, сказанной много лет тому назад английским физиком, лордом Кельвином, своим слушателям: „Скажите мне, что такое электричество, и я вам объясню тогда все остальное“.

¹⁾ Вообще 10^n означает 1 с n нулями.

ЛЕКЦИЯ ОДИННАДЦАТАЯ.

СОДЕРЖАНИЕ.

Радиоактивные вещества, потоки α и β частиц. γ лучи радия. Спинтарископ Крукса. Подсчет числа атомов в кубическом сантиметре газа. Масса атома. Как определить размеры атома? Ядро атома и окружающие его электроны.

Явление ионизации. Периодическая система элементов.

Сегодня мы займемся вопросом о строении атома, при чем мы постараемся не столько дать обзор достигнутых в последние годы в этой области громадных успехов, сколько показать, что и в этой области физики так же, как и во всех рассмотренных нами раньше, каждый шаг наших теоретических рассуждений опирается на громадный фактический материал. Поэтому теория строения атома наряду с другими теориями представляет собой не фантазию, придуманную людьми науки, а самую настоящую картину, или точнее снимок с самой природы—отражение того, что есть. Но, прежде всего, как доказывает современная физика существование атомов? Ведь совершенно ясно: для того, чтобы ставить вопрос о строении атома, надо прежде всего уметь обнаруживать их присутствие. Мы имеем теперь очень много способов проникнуть в мир атомов; перечислять их все мы не будем; ограничимся изложением наиболее наглядных опытов, доказывающих существование атомов.

Мы уже видели (см. лекцию VI), что, пропуская через трубку, наполненную разреженным газом, электрический ток, мы можем расщепить атом, отделив от него один или несколько электронов. Остаток оказывается заряженным положительным электричеством, и притом заряд этот тем больше,

чем большее число электронов было отщеплено—это можно было предвидеть из того, что в обычном нормальном состоянии атом электрически нейтрален, и, следовательно, в нем должно быть поровну электричества того и другого знака.

Оказывается, что помимо разрядной трубки в природе происходят подобные же процессы расщепления и притом иногда гораздо более глубокого характера. Такого рода явления распада атома происходят непрерывно в так называемых радиоактивных веществах.

Если мы поместим препарат одного из этих веществ, например, радия¹⁾ на дне углубления А в куске свинца Рв (см. рис. 102), то на завернутой в черную бумагу фотографической пластинке Р, помещенной против отверстия, получается черное пятно. Для этого пластинка должна лежать над радиоактивным препаратом то или другое число минут в зависимости от количества радиоактивного вещества.

Если мы поместим весь только что описанный прибор между полюсами электромагнита, то вместо одного пятна в γ , мы получаем три: в α , β и γ . Это явление вскоре после его открытия А. Беккерелем в 1896 году было истолковано так: радиоактивные вещества испускают „лучи“ трех родов: α , β и γ . Только γ лучи, не отклоняемые магнитным полем, за- служивают названия лучей—это лучи того же типа, как лучи Рентгена, но они принадлежат к числу очень „жестких“, лучей Рентгена, т.-е. таких, которые проходят через очень толстые слои металла. Оттого в опыте Беккереля, схематически изображенном на рис. 102, взят очень толстый слой свинца: иначе пятно в γ не будет резко очерчено—эти лучи будут проходить частью через свинец и дадут пятно с размытыми краями.

Можно показать, заставляя падать α „лучи“ на металлические пластинки, соединенные с электрометром, что эти „лучи“

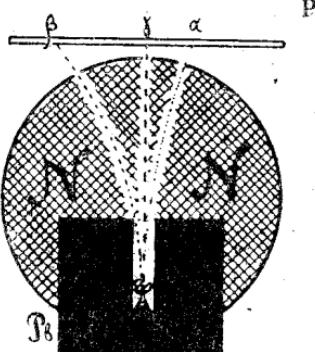


Рис. 102.

¹⁾ К числу радиоактивных веществ относятся уран, радий, торий, актиний и их продукты распада. Установлено также, что и некоторые другие химические элементы, как, напр., калий—радиоактивны, но в очень слабой степени. Более подробные сведения о радиоактивных веществах даны в книге проф. Я. С. Пржеборовского—Введение в химию, стр. 210, издание Ком. Ун-та имени Я. М. Свердлова.

несут с собой заряд положительный, а β лучи переносят с собой отрицательный заряд. Таким образом, мы приходим к выводу, что α и β „лучи“ представляют собой потоки несущихся заряженных частиц. Тогда явления отклонения их магнитным полем становятся понятными—это такое же явление, какое мы наблюдали в разрядных трубках. Измеряя подобным же образом, как в разрядных трубках (см. лекция VI), скорость и массу частиц, мы получаем следующие результаты: масса частиц, составляющих β „лучи“, равна массе электрона. Масса α частиц соответствует атому Гелия—масса этих частиц в четыре раза больше массы атома водорода. Скорости для электронов или β „лучей“ лежат в пределах от 130.000 до 295.000

километров в секунду; α частицы движутся сравнительно более медленно: их скорости лежат в пределах от 14.500 до 22.000 километров в секунду. Хотя скорость движения α частиц и значительно меньше, чем β , но вследствие их большой массы (в 7400 раз больше массы электрона) они обладают настолько большой энергией, что они могут уже вызывать видимые глазу действия. Так, в построенным Круксом приборе, носящем название „спинтарископа“ (слово означает: наблюдающий искры), вылетающие с кончика Ка иглы А, покрытого слоем радия (см. рис. 103-I), α частицы, ударяясь об экран z, покрытый слоем сернистого цинка, вызывают легко видимые в лупу В отдельные вспышки (рис. 103-II). Таким

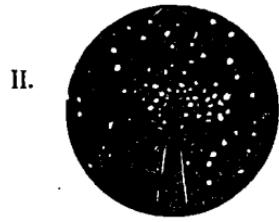
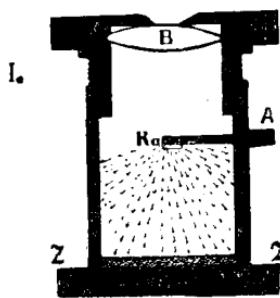


Рис. 103.

образом, каждая вспышка есть результат удара одной α частицы — одного атома Гелия. Хотя атом имеет размеры, лежащие далеко за пределами того, что можно увидеть в лучший микроскоп, не только что в лупу, но за то громадный запас энергии движения, которым обладает атом, несущийся со скоростью около двух десятков тысяч километров в секунду, вызывает возмущение на экране сернистого цинка на сравнительно большом расстоянии вокруг места удара. Это возмущение, сопровождающееся свечением, распространяется на довольно большую площадь вокруг

того места, где ударился атом; поэтому результат удара хорошо виден даже при небольшом увеличении лупы. Посмотрим, как можно подсчитать число атомов Гелия. Поместим определенное весовое количество радия в Ra (рис. 104) в одном конце длинной трубки, из которой выкачен воздух. Мы можем далее с помощью перегородки с хорошо измеренным отверстием D, помещенным на известном расстоянии C от препарата, выделить из числа всех α частиц, разлетающихся во все стороны, определенную малую долю. Эта доля будет тем меньше, чем меньше отверстие и чем дальше оно расположено от Ra. Выделенная малая доля α частиц, попадая на тонкий слой сернистого цинка Z, дает вспышки, которые мы можем наблюдать с помощью лупы L. Подсчитав число искр за известное число минут, мы можем рассчитать, сколько таких искр, т.-е. сколько α ча-

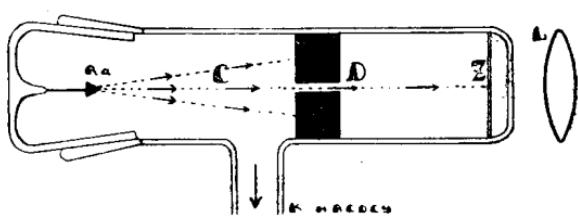


Рис. 104.

стии, выделится за любой промежуток времени из данного определенного по весу количества радиоактивного вещества. С другой стороны, можно определить об'ем и вес гелия, выделенного определенным весовым количеством того же радиоактивного вещества. Отсюда, определив число частиц или атомов, приходящихся на каждый кубический сантиметр выделившегося гелия, мы находим интересующее нас число. Оказывается, что это число выражается цифрою $2,72 \cdot 10^{19}$, т.-е. 27 с восемнадцатью нулями! Этот, непосредственный подсчет числа атомов в кубическом сантиметре газа очень хорошо согласуется с другими способами измерения числа атомов в куб. сант. газа, а таких способов сейчас существует около десятка.

Так как вес любого об'ема газа мы можем легко определить, то, зная, сколько в этом об'еме атомов, мы без труда определим и массу каждого из атомов. Мы получаем таким способом следующие величины. Атом водорода весит $1,66 \cdot 10^{-24}$ грамма, (т.-е. около 1,7 деленное на 1 с двадцатью четырьмя нулями). Атом гелия имеет массу в четыре раза большую, т.-е. около $6,64 \cdot 10^{-24}$ грамма.

Как определить теперь размеры атомов? Для этой цели можно воспользоваться потоками электронов различных скоростей, пропуская их через слои того или другого вещества. В зависимости от скорости эти электроны или пролетают мимо атомов, т.-е. между областями, занятыми атомами; это могут уже сделать сравнительно более медленно движущиеся электроны. Проникнуть в глубь атома эти электроны не смогут, так как они вследствие малой скорости обладают небольшим запасом энергии и не смогут преодолеть отталкивания вращающихся вокруг положительного ядра атома электронов. Если же мы возьмем пучок электронов, скажем β „лучей“, испускаемых радиоактивными веществами и движущихся, как мы видели, со скоростями, приближающимися к скорости света, то эти более быстро движущиеся частицы, преодолевая силы отталкивания и притяжения заряженных частей атома, в состоянии пролетать между ядрами атома и вращающимися вокруг них электронами. Пустим на тонкий листок алюминия пучок электронов; этот листок мы можем, например, поместить на пути „катодных лучей“ внутри разрядной трубы. Если за этим листком мы поместим цилиндр, соединенный с электрометром, то все пролетевшие через листок электроны отдадут заряд электрометру.

Если мы уберем листок, то за тот же промежуток времени электрометр сильнее зарядится: листок металла задерживал часть попадающих на него электронов, отсылая их обратно; только те, которым удалось пролететь между атомами, достигали цилиндра. Когда мы уберем листок, то все электроны пучка достигают цилиндра. Зная из этих измерений, какая доля всех электронов не пропускается листком, мы можем определить, как велики препятствия, представляемые атомами, и как велики промежутки¹⁾. Точно также, если мы бросаем пригоршнями песок на решето, стоящее верти-

¹⁾ Этот подсчет можно сделать таким образом; из химии известно, что атом алюминия приблизительно в 27 раз тяжелее атома водорода, масса которого, как мы только что видели, равна $1,66 \cdot 10^{-24}$ грамма, следовательно, каждый атом алюминия имеет массу $45 \cdot 10^{-24}$ грамма. Если разделить на это число вес листочка алюминия, мы узнаем, сколько в нем атомов. Определив указанным в тексте способом (т.-е. измерив отношение числа прошедших электронов к числу отраженных), как велика во всей площади листка доля „непроницаемого“ для летящих электронов, и разделив это на число атомов в листке, мы получим площадь „непроницаемого“, приходящуюся на долю каждого атома.

кально, то часть песчинок пролетает сквозь отверстия, часть отлетает обратно. По отношению веса пролетевших песчинок к общему числу брошенных можно определить, какая площадь в решете приходится на долю отверстий, и какая площадь занята переплетами.

Расчет показывает, что радиус атома, если мы примем, что он имеет шарообразную форму, порядка 10^{-8} сантиметра, т. е. составляет одну стомиллионную долю сантиметра. Как мы уже говорили—более быстро движущиеся электроны проникают внутрь этой области, занятой атомом. Таким образом, в пределах шара радиуса 10^{-8} сантиметра располагается ядро и вращающиеся вокруг него электроны. Если мы возьмем движущиеся электроны, по скорости приближающиеся к скорости света, то оказывается, что тонкий листок

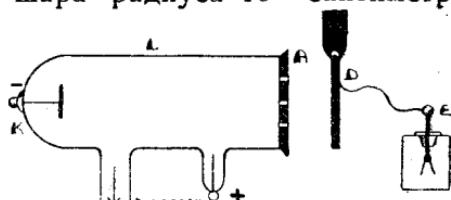


Рис. 105.

металла пропускает их довольно хорошо: задерживается, т. е. отскакивает обратно, очень малая часть. Если мы таким же образом подсчитаем, что же остается непроницаемого в атоме для этих быстро движущихся частиц, то оказывается, что на долю каждого атома приходится непроницаемая область радиусом 10^{-12} сантиметра, т. е. миллионная доля миллионной доли сантиметра. Эта величина в десять тысяч раз меньше той величины, которую мы получили для той области, где располагается ядро атома с кружящимися вокруг него электронами-спутниками. Покажем теперь на опыте, как можно пропустить электроны через тонкие листочки металла.

С помощью ртутного насоса, в детали устройства которого мы, к сожалению, за недостатком времени входить не можем, мы выкачиваем воздух из так называемых трубок Ленара (рис. 105), особенность ее состоит в том, что против катода К помещается металлический колпачек А, отверстия которого—очень малые—заклеиваются тонким листком алюминия. При достаточно малом отверстии тонкий алюминиевый листок выдерживает атмосферное давление. Если мы пропустим через трубку ток, соединив отрицательный полюс источника с катодом К и положительный с анодом +, то образующийся по-

ток электронов падает на отверстие, закрытое алюминиевым листком. Электроны пролетают через листок в промежутки между атомами алюминия, пролетают через слой воздуха в несколько миллиметров и, попадая на металлическую пластинку D, заряжают ее: вы видите, как электроскоп E, соединенный с пластинкой D, все сильнее и сильнее заряжается.

Если бы пластинка D была помещена внутри трубы, а листок алюминия был бы расположен между ней и катодом, то мы получили бы прибор, в котором можно было бы выполнить все измерения, о которых у нас только что шла речь.

В опытах с пропусканием через тонкие слои материи потоков электронов и β частиц приходится еще учитывать явление т. н. „ионизации“, т. е. отщепления электронов от атомов того вещества, через которое данный пучок пролетает. Явление „ионизации“ вообще происходит от разных причин: так, быстро двигающиеся заряженные частицы могут, ударившись о нейтральный атом, выбить из него электрон. Электроны, выделяемые накаленными телами, точно также могут произвести „ионизирующее“ действие. Далее, лучи Рентгена, проходя через слой воздуха или какого-либо другого газа, отщепляют на своем пути электроны. Наконец, процесс отщепления электронов от атома происходит в трубках с разреженным газом и в пламени любой горелки. Я сейчас покажу вам на нескольких опытах это явление. Зарядим один из электроскопов, которым мы уже пользовались (см. лекция V). Я накаливаю на горелке кусок толстой проволоки и приближаю к электроскопу. Вы видите, как электроскоп быстро разряжается. Заряд на электроскопе удерживается потому, что при обычных условиях воздух содержит в ничтожном количестве „ионы“, т. е. молекулы, от атомов которых отщеплен электрон, или такие, к которым пристал электрон, отщепленный от какого-либо другого атома¹⁾: в обычных условиях воздух, как говорят, слабо „ионизирован“.

Когда же из раскаленной проволоки выделяются электроны, в окружающем пространстве появляются ионы. Элек-

¹⁾ В воздухе при атмосферном давлении электрон в свободном состоянии долго существовать не может: он очень быстро пристает к той или другой молекуле смеси газов, которую мы называем воздухом.

троны отчасти выбивают электроны из атомов, с которыми они сталкиваются; отчасти застревают в атомах, сообщая им свой заряд. Если же проволока не была предварительно прокалена и не была освобождена от облекающей ее газовой оболочки, то при нагревании проволоки от нее отделяются и положительно заряженные частицы, т. е. частицы, один из атомов которых лишен одного из своих электронов. Таким образом, около нашего электроскопа получается атмосфера, наполненная положительно и отрицательно заряженными частицами. В зависимости от знака заряда электроскопа те или другие частицы *устремляются* к заряженному проводнику, соединенному с электроскопом, и разряжают его. В виду этих перемещений под действием притяжения или отталкивания присущих заряженных тел,— всякая заряженная, легко подвижная частица приходит в движение, отчего она и называется „ионом“, что значит „идущий“, а процесс получения таких частиц — „ионизацией“. Заряжаем вновь наш электроскоп и пускаем в действие рентгеновскую трубку на другом конце аудитории.

Рентгеновская трубка (см. рис. 106) устроена следующим образом: против вогнутого катода *K*, собирающего по возможности в одну точку поток отделяющихся от него электронов, помещается т. н. „антикатод“²⁾ *A*, сделанный из массивного куска какого-либо тяжелого тугоплавкого металла. То место, где ударяются об антикатод быстро летящие электроны, и является источником лучей Рентгена.

Стоит только на короткий промежуток времени привести в действие трубку, как электроскоп, стоящий на расстоянии не-

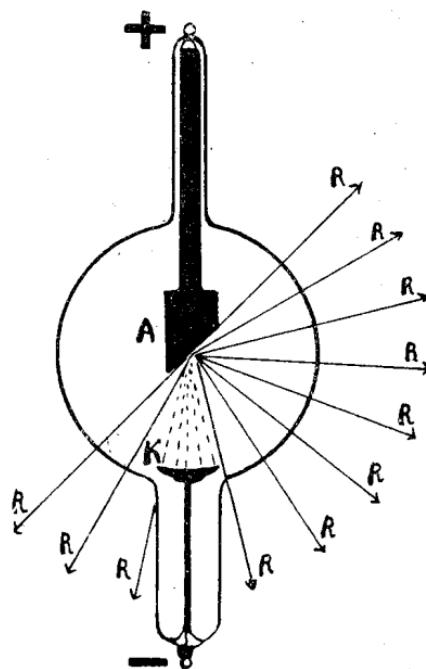


Рис. 106.

¹⁾ Анти значит против; антикатод—расположенный против катода.

скольких метров, разряжается: лучи Рентгена произвели ионизацию в воздухе, окружающем электроскоп; заряженный электроскоп притянул к себе ионы противоположного знака и разрядился. Познакомимся теперь с некоторыми свойствами лучей Рентгена. Мы затемняем аудиторию, пускаем в ход трубку и помещаем знакомый нам по опытам с ультрафиолетовыми лучами (см. лекция IX) экран платино-синеродистого бария. Вы видите, как он ярко светится под действием лучей Рентгена. Я помещаю между трубкой и экраном свою руку, и вы ясно видите тень от костей моей руки; таким образом, мягкие части человеческого тела легче пропускают лучи Рентгена, чем кости. В зависимости от скорости электронов, ударяющихся об антикатод, у нас получаются лучи различной длины волны. Чем больше скорость электрона, тем короче длина волны вызванного им при ударе об антикатод „рентгеновского света“, а чем короче длина волны, тем легче проходят эти волны через различные виды материи,—тем более „жесткие“ лучи у нас получаются, как говорят на практике. Едва ли надо указывать на то широкое применение, какое имеют эти лучи в медицине: мы можем с их помощью заглядывать, так сказать, внутрь живого человеческого организма. Кроме того, можно обнаружить с их помощью т. н. раковины в литых металлических частях; таким образом можно отбирать материал, идущий на постройку всевозможных машин.

Мы однако отвлеклись сейчас немного в сторону, занявшись явлением ионизации; вернемся к вопросу о строении атома. Рассмотрим, что выяснили физики о строении ядра атома. Опыты показали, что не только электроны могут пролетать сквозь тонкие слои того или другого вещества, но и более массивные α частицы, обладающие большой энергией. Прохождение α частиц через материю значительно легче исследовать, так как каждая частица при своем ударе об экран сернистого цинка вызывает видимую глазу вспышку: таким образом учету поддается каждый атом. Пропустим через отверстия в толстых металлических пластинках D поток α частиц, испускаемых препаратом R (см. рис. 107). Если поместить прибор в разреженном газе и убрать металлический листок ММ, то поток α частиц не будет расходиться. На экране АВС искры,

вызываемые им, поместятся на площади, почти равной площади отверстия в D. Если мы на пути пучка вставим тонкий листок какого-либо вещества, то, во-первых, число вспышек на экране уменьшится: частицы, налетевшие в упор на ядро какого-либо из атомов, находящихся в листке MM, полетят обратно; во-вторых, искры теперь

будут рассеяны на большей площади экрана ABC: пучок стал расходящимся. Опыт показывает, что чем больше атомный вес вещества, из которого сделан листок MM, тем большая часть экрана занятаискрами. Почему происходит это явление рассеяния?

Простой подсчет показывает, что частицы, имеющие массу почти в восемь тысяч раз большую, чем электрон, не будут отклонены электронами атомов, мимо которых они проходят, наоборот, эти электроны будут отброшены в сторону

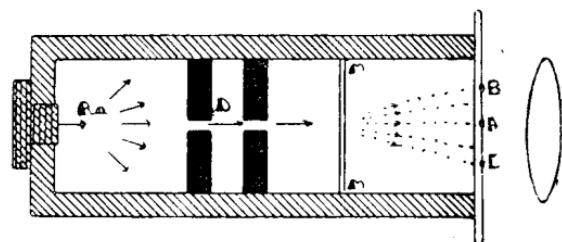


Рис. 107.

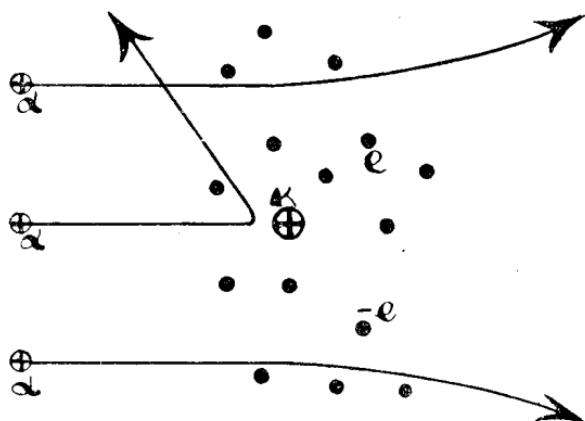


Рис. 108.

такими тяжелыми снарядами. Отклонение положительно заряженной частицы может быть вызвано только отталкиванием ядра, как указано на рис. 108. Ясно, что частицы будут тем сильнее разбросаны на экране ABC (рис. 107): они будут тем дальше отходить от оси пучка, чем сильнее заряд ядра. Расчеты показывают, что, измеряя с помощью лупы L распределение искр на экране ABC, можно определить величину заряда ядер атомов, составляющих пластинку MM. Опыты эти привели к следующим замечательным результатам. Вы знаете из лекции по химии, что все химические элементы, из которых

построен весь мир, укладываются в т. н. систему Менделеева. Все элементы, начиная с водорода, расположены в ней по порядку увеличивающегося их атомного веса; так, первое место занимает водород, второе—гелий, третье—литий, четвертое—берилий, пятое—бор, шестое—углерод, седьмое—азот и т. д. (см. табл. в конце книги), и вот оказывается, что число, определяющее место элемента в периодической системе, совпадает с числом положительных зарядов ядра. Так кислород, занимающий 8-ое место, имеет в своем ядре восьмикратный положительный заряд и восемь кружящихся вокруг этого заряда электронов: шесть в наружной части и два во внутренней. Медь стоит на 29 месте, и оказывается, что заряд ядра атома меди равен +29 элементарным зарядам, а вокруг ее ядра 29 электронов. Таким образом, число, показывающее положение элемента в системе Менделеева, имеет физический смысл—это число равно числу электронов, находящихся вокруг ядра, или числу элементарных положительных зарядов ядра, так как ведь в обычных условиях в нерасщепленном атоме положительного и отрицательного электричества должно быть поровну.

Для того, чтобы картина расположения электронов в атоме была для нас более наглядна, рассмотрим следующую модель. Деревянная коробка АВ (рис. 109) с лежащим на дне ее тонким железным кольцом *вв* наполняется чистой ртутью. Под коробкой по средине устанавливается полюс электромагнита. Этот полюс изображает ядро атома. Если мы бросим на ртуть два стальных шарика, которые предварительно были намагнитены, то они своими южными полюсами повер-

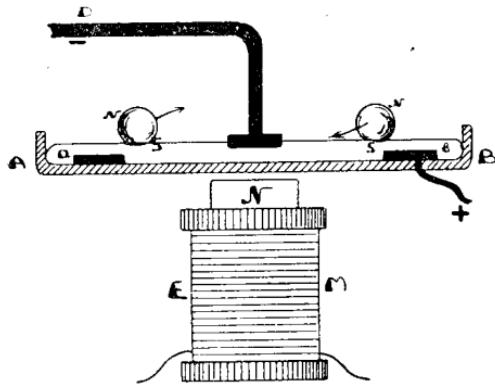


Рис. 109.

нутся к центру и начнут приближаться к северному полюсу электромагнита, но тогда начнется отталкивательное действие одноименных полюсов наших шариков. В результате борьбы этих противоположных сил, шарики после нескольких колебаний остановятся. Чтобы еще более прилизиться к условиям,

имеющим место в атоме, пропустим постоянный электрический ток через ртуть, подведя его к кольцу вв и к D — погруженной в ртуть проволоке. Ток пойдет по ртути лучами от окружности к центру — к проволоке; но не будем забывать, что ртуть находится в магнитном поле. Она придет в движение — будет вращаться против стрелки часов, если смотреть на ртуть сверху от D (проверьте с помощью правила трех пальцев левой руки). Ртуть увлечет за собой шарики, и мы получаем на нашей модели подобие вращения электронов вокруг ядра.

Увеличивая число шариков, мы получаем различные расположения вокруг ядра. При большом числе шариков они располагаются вместо одного кольца в два. При увеличении числа шариков возрастает и число колец. В нашем примере действующие силы таковы же, как и в атоме: в самом деле электроны притягиваются ядром и отталкиваются друг другом так же, как наши стальные намагниченные шарики.

Из чего состоят ядра атомов? Одни ли только положительные заряды находятся в них. Опыты с радиоактивными телами показывают нам, что внутри ядра находятся также и электроны, так как β частицы несомненно вылетают из ядра, а не из наружных колец. На чем основано это утверждение? Когда мы отщепляем один или несколько электронов, то остаток атома не претерпевает глубоких изменений: он легко заменяет потерянные электроны, взяв их из какого-либо источника; а кроме того и в ионизованном состоянии свойства атома не так сильно меняются. Последнее испускания β частицы, атомы остающегося вещества резко отличаются по своим химическим свойствам. Таким образом, в ядре сосредоточены как положительно заряженные частицы, так и электроны, при чем положительные заряды находятся в избытке, и то, что мы называем положительным зарядом ядра, есть избыток положительных зарядов над отрицательными. Так, например, заряд ядра атома в 8 единиц можно осуществить, взяв 10 положительных и два отрицательных или 12 положительных и четыре отрицательных и т. д. Присутствие электронов в ядре обясняет нам, почему ядра не разлетаются — электроны, притягивающие положительные заряды, служат как бы связующими звеньями для положительных зарядов. Но как бы мы ни

осуществляли заряд ядра, наружные электроны расположатся в них одинаковым образом, а по всем данным число и расположение наружных электронов определяет собой химические свойства атомов. Таким образом, ядро может быть различным образом построено, но если только у всех этих разновидностей избыточный положительный заряд ядра один и тот же, то такие атомы не отличимы друг от друга химически. Их можно отличить друг от друга физически, определяя их массу по их отклонению в магнитном и электрическом поле таким же способом, каким определяется масса электрона (см. лекцию VI). Таким путем Астон, ученик Дж. Дж. Томсона, показал, что, например, хлор, имеющий атомный вес по данным химии в 35,45, представляет собой смесь атомов двух сортов — двух разновидностей, имеющих атомный вес 35 и 37; при чем число атомов с атомным весом 35 в этой смеси всегда больше, оттого и среднее значение, определенное химиками, ближе к 35, чем к 37.

Эти разновидности, отмеченные на таблице¹⁾, носят название „изотопов“, что значит — находящиеся на одном и том же месте,—подразумевается в системе Менделеева. Эти взгляды на строение ядра подтверждаются радиоактивными явлениями. Так, радий с атомным весом 226, занимающий 88 место в системе Менделеева, выделяет при своем распаде α частицу, заряженную двойным зарядом и имеющую атомный вес 4, поэтому ядро остающегося атома будет иметь заряд на две единицы меньше, и действительно этот остаток, представляющий собой т. н. эманацию радия с атомным весом 222, по своим химическим свойствам подходит к т. н. благородным газам — гелию, неону, аргону и т. д. и имеет порядковое число 86 (вместо 88 зарядов осталось 86, т. к. два заряда выделились из ядра вместе с вылетом оттуда α частицы). Это подтверждается на целом ряде дальнейших продуктов распада радия и тория.

Всякий раз, как выделяется α частица, вещество, потерявшее из своего ядра двойной положительный заряд, перемещается в менделеевской системе на два места назад в сторону убывающих атомных весов. Если же из ядра вылетит частица β , то положительный заряд ядра увеличится

¹⁾ См. таблицу в конце книги.

на единицу (так как отрицательный заряд ядра уменьшился на единицу), и данное вещество по своим химическим свойствам должно быть отнесено к следующему столбцу в системе Менделеева, т. е. в сторону увеличивающихся порядковых чисел.

О том, как устроено ядро, мы знаем очень мало. Значительный успех в этом направлении достигнут английским физиком Рутерфордом.

Он показал, что, бомбардируя частицами радиоактивных веществ атомы алюминия и ряда других химических элементов, можно выбить из ядер этих атомов ядра атома водорода. Таким образом, повидимому, ядра всех атомов построены из положительно заряженных ядер атомов водорода и электронов.

Эти же опыты показали, что выделяющиеся атомы водорода несут с собой большой запас энергии. Таким образом, ядра атомов водорода находились уже внутри ядра атома алюминия в состоянии движения. Мы, следовательно, получаем возможность извлечь таящиеся внутри атома запасы энергии. Правда, пока еще эта энергия извлекается в ничтожно малом количестве, но мы не можем отрицать возможности, что рано или поздно мы научимся использовать эти громадные запасы энергии, а это равносильно перевороту в нашей технике. Отсюда мы приходим к выводу, что даже такой чисто теоретический вопрос, как вопрос о строении атома, тесно связан, тесно переплетается с жизненным вопросом об источниках энергии.

ЛЕКЦИЯ ДВЕНАДЦАТАЯ.

СОДЕРЖАНИЕ.

Борьба вокруг теории Эйнштейна. Принцип относительности Галиля-Ньютона. Специальная теория относительности. Постоянство скорости света. Как измеряется скорость света. Почему теория Эйнштейна отрицает существование эфира. Всеобщий принцип Эйнштейна. Доказан ли этот принцип на опыте? Принцип относительности и материализм.

Сегодня мы кончаем наши занятия по физике. Темой нашей последней лекции будет служить теория знаменитого физика Альберта Эйнштейна, носящая название теории относительности. Эта теория за последние годы привлекла к себе всеобщее внимание, вокруг этой теории идет ожесточенная борьба. Все философы-идеалисты ликуют, доказывая, что эта теория окончательно и бесповоротно опровергла материализм. Часть специалистов физиков, стоящих—может быть, даже бессознательно—на точке зрения материализма, выдвигает все более и более веские возражения: скрытых противников этой теории, не высказывающихся на собраниях и в печати, в среде специалистов гораздо больше, чем это обычно полагают: они молчат, потому что ими руководит чувство страха прослыть отсталыми консерваторами. Хотя в буржуазном обществе, особенно в эпоху вплотную надвинувшейся социальной революции, консерватизм весьма похвальное качество, однако—раз новая теория дает возможность опровергать материализм, всякое возражение против нее оценивается весьма неблагоприятно¹⁾. Другая часть

¹⁾ В Германии некоторые выдающиеся ученые, как, например, Герке, несмотря на ряд крупнейших исследований, выполненных им и призна

людей науки, среди которых многое весьма выдающихся ученых, безоговорочно и не без раздражения отмечает решительно все возражения и считает, что Эйнштейн произвел необычайную революцию во всем естествознании—во всем нашем мировоззрении. Среди марксистов также нет единства. Одно только можно сказать с уверенностью, что те из них, которые пытались согласовать эту модную теорию с диалектическим материализмом, сейчас же скатывались со своей материалистической позиции в самый настоящий идеализм, часто сами того не замечая.

Почему, однако, в этой области, в отличие от всех рассмотренных нами областей физики, столько споров, которые, несмотря на свою длительность, не привели еще к окончательному результату? Товарищи, лучшим ответом на этот вопрос является обстановка нашей сегодняшней лекции или, вернее, ее отличие от всех предшествующих наших бесед и лабораторных занятий.

На этом длинном столе у нас обыкновенно не было свободного места: все было заставлено приборами, на которых мы показывали *то*, о чем мне приходилось вам рассказывать, поясняя еще иногда сказанное чертежами на доске. Сегодня вы видите, на этом столе пусто. И это не случайно, теория относительности настолько оторвана от фактической почвы, настолько далека, я бы сказал, от физики, что решительно не придумаешь, что бы можно было показать на лекции в ее подтверждение. На это можно возразить, что опыты, которые имеют отношение к этой теории, чрезвычайно сложны, и потому мы их не можем здесь показать. Это возражение, однако, не трудно устраниТЬ: как мы увидим в дальнейшем, опыты, привлекаемые к оправданию этой теории, могут быть весьма просто истолкованы иным путем, без всякой теории относительности,—таким образом, и эти сложные опыты ничего не доказывают. Для того, чтобы однако вам не показалось, что высказанные мною соображения пристрастны, что с вами говорит противник теории, во что бы то ни стало пытающийся ее очернить, я приведу сейчас слова проф. Зоммерфельда—одного из крупнейших

ных всем ученым миром, не могут получить кафедры в высших школах только потому, что они решительно высказываются против этой модной теории. Отсюда можно сделать вывод: далеко не все новое встречается враждебно, как об этом принято говорить.

современных физиков и ревностных сторонников этой модной теории: „В противоположность широко распространенному взгляду—влияние принципа относительности на реальное изучение природы весьма ограничено...“ „... и все же идейное значение принципа и субъективные заслуги Эйнштейна чрезвычайно велики“. К этому я могу еще добавить, что теория относительности—такая область физики, которая никаких не только существующих, но даже и предполагаемых практических применений не имеет.

В чем же однако содержание этой теории?

Представим себе, что мы стоим на досках моста, перекинутого через быстро текущий ручей, и смотрим на воду так, чтобы видеть одновременно и доски и несущийся поток воды.

Каждый из вас припомнит, что в таких случаях вам порой казалось, что не вода движется, а вы сами вместе с досками движетесь в сторону противоположную течению реки. Точно также, если вы сидите в вагоне и перед окном вашего вагона стоят вагоны другого поезда, вы часто не можете решить, что собственно начало двигаться: вы слышите свисток и замечаете начавшееся движение, но сразу вы не можете узнать: ваш ли поезд пошел, или поезд, стоящий перед окном вашего вагона? Если бы поезд шел без толчков, и если бы вы не видели, кроме встречного поезда, станционных зданий, деревьев, домов, полей и если бы вы не ощущали толчков и покачиваний вагона, в котором вы находитесь, то вы так и не решили бы, что именно движется. Происходит это потому, что, когда мы движемся прямолинейно и равномерно, все явления в нашем вагоне протекают так же, как будто бы поезд стоял на станции.

Отсюда—какие бы опыты мы ни производили в нашем вагоне, они не дадут нам указаний, стоит ли поезд или идет равномерно, а потому, когда мы смотрели на движущиеся мимо нашего вагона—вагоны другого поезда, мы и не могли сразу решить, какой поезд пошел: мы воспринимаем *относительное движение*, т.-е. наше перемещение по отношению к другому поезду, а кто в действительности пошел по рельсам, это мы решаем косвенным путем, сравнивая положение нашего поезда и соседнего поезда с положением станционного здания, телеграфного столба и т. д. Основанием к сделанному выводу служит установленный на опыте со временем

Галилея и Ньютона факт, что в покое и при равномерном и прямолинейном движении (например, внутри вагона) все про текает совершенно одинаково: движется ли поезд или стоит на станции. Например, выроненная из рук монета упадет на то же место на пол, независимо от того—стоит ли вагон или он движется равномерно и прямолинейно.

Отсюда можно даже сделать вывод: если бы земной шар повернулся навстречу движению поезда, а поезд попрежнему вертел бы колесами, то поезд оказался бы так же, как и раньше, на другом месте пути, но по отношению к воображаемому наблюдателю, находящемуся вне земного шара, поезд мог бы остаться на одном и том же месте. Действительно, если поезд пройдет ровно настолько вперед, насколько поверхность земли повернулась назад вместе с поездом, то поезд для внешнего наблюдателя А (см. рис. 110) не переместится. В самом деле, если поезд Р из города В проедет в город B_1 , а земной шар повернется так, что точка B_1 его поверхности пройдет тот же путь $V B_1$ в обратную сторону, то поезд попрежнему будет стоять против внешнего наблюдателя А, не принимающего по нашему предположению участия во вращении земли. С точки зрения этого наблюдателя А поезд стоит, зато земля под ним движется! Если бы дело происходило так, то мы, сидя в поезде, все-таки по прежнему могли бы думать, что земля не движется, а движется поезд. За то „внешний“ наблюдатель А переместился бы для нас на нашем небосклоне. При этом необходимо прибавить, что тогда для наблюдателей, находящихся не в поезде, а на земле, небесный свод должен был бы поворачиваться в сторону, обратную предполагаемому движению земли. А так как поезда движутся по земле по всем направлениям, а земля вертится вокруг одной и той же оси, то ясно, что наше рассуждение реального значения не имеет — оно нам необходимо для того, чтобы истолковать смысл того, что значит относительное движение.

Основное положение Эйнштейна и состоит в том, что как бы мы ни двигались в вагоне или в аэроплане, все яв-

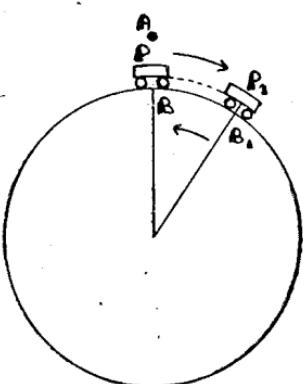


Рис. 110

ления в нашем аэроплане или вагоне будут протекать совершенно так же, как и в том случае, если бы аэроплан или вагон были неподвижны с точки зрения какого-либо наблюдателя, не находящегося на земле (см. рис. 110), а двигалась земля в противоположную сторону. Сначала Эйнштейн выставил более ограниченное положение, именно, *все явления природы протекают совершенно одинаково для любой группы наблюдателей, движущихся друг относительно друга прямолинейно и равномерно* (наприм., наблюдатели на станции и в равномерно идущем поезде, или равномерно летящем по отношению к поверхности земли аэроплане). Это специальный принцип Эйнштейна (опубликованный в 1905 году). В 1915-1916 году Эйнштейн обобщил этот принцип, утверждая, что *все явления протекают совершенно одинаково для наблюдателей, движущихся друг относительно друга, как угодно.*

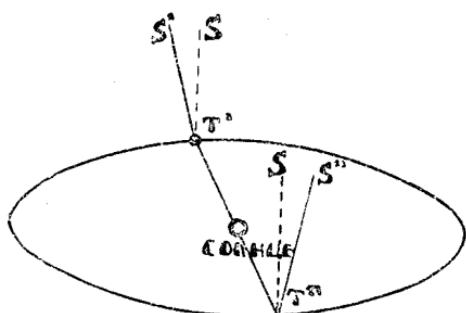


Рис. 111.

Когда людям, мало знакомым с теорией Эйнштейна, дают эту почти вполне строгую формулировку его теории, они часто даже обижаются, считая, что их обманывают, что не может же в самом деле весь мир увлекаться таким сухим и на вид мало интересным выводом!

Рассмотрим сначала специальный принцип. Целый ряд опытов заставляет нас признать, что эфир, т.-е. та среда, в которой распространяются световые волны, не увлекается движением земного шара вокруг солнца. Так, оказывается, что когда мы наблюдаем звезду (см. рис. 111) в разные времена года при разных положениях земного шара T' и T'' , то нам приходится наклонять трубу, правда очень немного, в сторону, куда движется земля вокруг солнца: труба должна быть направлена по $T' S'$ вместо $T S$ и по $T'' S''$ вместо $T'' S$. Точно также, если при безветреной погоде идти под зонтом, то, чтобы уберечься от дождя, надо нагибать слегка вперед зонт, т.-е. в ту сторону, куда мы идем. А это и доказывает, что движение света вдоль трубы не зависит от движения трубы вместе с земным шаром так же, как и падение капель во втором примере не зависит от движения человека с зонтом.

В самом деле, когда мы быстро идем, мы перехватываем падающие вдоль края зонта капли, пока они не успели еще упасть на землю, а нам кажется, что капли падают наискось; от края зонта к нам в лицо! Таким образом, изложенное нами явление aberrации света (отклонение луча, идущего от звезды) на ряду с другими явлениями, о которых мы не имеем возможности говорить за недостатком времени, убеждает нас в том, что эфир не увлекается земным шаром. Если мы станем на точку зрения новейшей теории строения атома, о чем у нас уже была речь, то в этом нет ничего особенно удивительного: на протяжении, занимаемом атомом, располагаются ядра и электроны, которые имеют приблизительно в 100.000 раз меньшие размеры, чем область, занятая всем атомом, т.-е. всей системой ядра и окружающих его электронов. Если мы ядро атома изобразим в виде горошины, то первое кольцо, на котором движутся электроны, имеющие размеры также с горошину, должно иметь радиус около 10 метров, а наружные орбиты (пути электронов) надо изобразить при том же масштабе в виде колец, имеющих размеры трамвайного кольца Б в Москве! Если бы такое собрание горошин привести в быстрое движение, то движение среды— воздуха, в котором эти горошины находятся, происходило бы только вблизи самих горошин, в общей же массе среда осталась бы неподвижной. Таким образом, возражение, о котором мы говорили, легко устраняется. Но если земля и все, что на ней находится, эфира не увлекает, по крайней мере во всей его массе, то можно определить движение земли по отношению к этому эфиру. Пусть в заведомо безветреный день идет поезд; стоит нам высунуться в окно, и мы ощущаем ветер: поезд своим движением увлекает очень малую часть воздуха, непосредственно к нему прилегающую; в массе же своей воздух остается неподвижным, и мы разрезаем его движущимся поездом; это „отставание“ воздуха от движения поезда нами оценивается, как ветер. Как определить движение земли по отношению к эфиру, можно выяснить себе на следующем простом примере. Пусть на длинной платформе АВ (см. рис. 112) в А поставлен фонарь, и пусть в некоторый момент времени, считаемый нами условно за начало счета времени $t=0$, в А фонарь зажигают или открывают заслонку. Пусть в этот момент против фонаря находится последнее окно последнего вагона А¹,

движущегося со скоростью v поезда; в поезде так же, как и на платформе, увидели свет. Пусть далее в тот момент $t=t_1$, когда свет дойдет до конца платформы B , там будет наход-

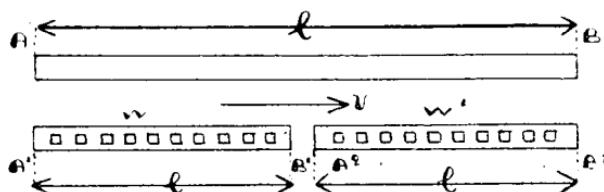


Рис. 112.

диться первое окно первого вагона B^1 ; в поезде также увидали, что свет пришел в B^2 . Как велика скорость света? Наблюда-

тель на платформе скажет, за время t_1 свет прошел всю длину платформы L : в одну секунду он пройдет в t^1 ¹⁾ раз меньше. Итак, скорость света $c = \frac{L}{t_1} \dots (1)$.

Не то скажет наблюдатель в поезде: я видел, скажет он, свет в A^1 в момент $t=0$ и в B^2 в момент $t=t_1$, за это время свет прошел длину моего поезда L_1 ; откуда—вывод: скорость света для пассажира равна $c_1 = \frac{L_1}{t_1}$, так как из чертежа ясно, что L_1 меньше L , то c_1 —скорость света для наблюдателя в поезде меньше c —скорости света для наблюдателя на платформе. Стойте, скажет нам Эйнштейн! Свет есть такое же явление природы, как и всякое другое: не может же его скорость быть одна для наблюдателя на платформе и другая для наблюдателя в поезде, ведь тогда, измерив скорости света, наблюдатели могли бы определить, кто из них „на самом деле“ движется, а ведь мы только что видели, что мы определяем только относительное движение! Если бы двигался не поезд, а земной шар с платформой, а поезд стоял бы на месте, для наблюдателя, не участвующего в движении земли (см. рис. 110), то все протекало бы по прежнему.

Но как же сделать так, чтобы скорость получилась та же самая у первого и второго наблюдателя? Мы должны предположить, что время у наблюдателя в поезде идет медленнее! Когда у наблюдателя на платформе протекло t_1 секунд, часы у наблюдателя в вагоне показали всего t_2 и притом так, что $c = \frac{L}{t_1} = \frac{L_1}{t_2}$, тогда скорость света, измеренная по этим часам, окажется одинаковой с измеренной на платформе.

¹⁾ t может быть целым числом или дробью.

Мы должны сейчас оговориться, что мы изложили несколько упрощенно теорию Эйнштейна. Математический анализ показывает, что для того, чтобы скорость света была и в поезде и на платформе одинакова, нужен не только изменившийся ход часов (это изменение сложнее, чем в нашем примере, оно выражается более сложной формулой; но суть дела остается та же), но и укорачивание—правда очень небольшое—всего движущегося поезда. Мы должны допустить, что и длина поезда вследствие его движения укорачивается. Как ход часов, так и это укорачивание длины поезда тем больше, чем быстрее движется поезд.

Может ли наблюдатель в поезде узнать, что у него часы пошли медленнее и длина поезда укоротилась? Прежде всего эти изменения для скоростей движения, малых по сравнению со скоростью света, ничтожно малы—а даже скорость полета артиллерийского снаряда очень мала по сравнению со скоростью света. Но и помимо этого, наблюдатель, как бы он точно ни измерял, принципиально не сможет узнать, произошли ли какие-либо изменения в ходе часов и в длинах, так как все его измерительные приборы изменятся в том же отношении, и он ничего не узнает! В самом деле: если я, находясь в быстро движущемся вагоне, хочу проверить, сократился ли вагон по направлению движения, то я должен взять линейку и посмотреть, сколько раз она уложится по длине вагона, но ведь и линейка должна сократиться и в том же отношении. Точно также и все часы—все процессы, с помощью которых мы измеряем время, пойдут медленнее и именно так, чтобы скорость света получалась везде одинаковая, независимо от состояния движения наблюдателя, измеряющего скорость света!

Какие, спрашивается, мы имеем данные, что дело в природе происходит именно так? На этот вопрос можно дать один ответ: вплоть до самого последнего времени не удавалось определить какого-либо влияния движения земного шара на величину скорости света. Ведь если эфир, т. е. та среда, в которой движется свет, участвует в движении земли, то физики, измеряющие скорость света на земном шаре, находятся в таком же положении, как наблюдатели в поезде в только что рассмотренном примере. Если же мы не можем заметить никакой разницы при определении скорости света

в различное время дня и ночи (см. рис. 113) ¹⁾, то отсюда как будто и можно сделать вывод, что скорость света не зависит от движения земли, а тогда—единственный выход, время

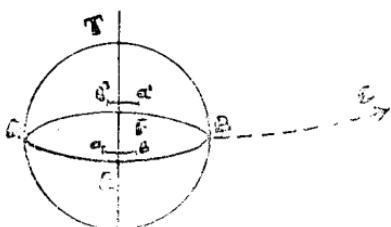


Рис. 113.

должно у движущихся наблюдателей замедляться по сравнению с теми, кто в этом движении не участвует. Но точно ли движение земли не оказывается на скорости света? Необходимо помнить, а это забывают часто даже очень выдающиеся

ученые, что все наши способы определения скорости света основаны на том, что луч света проходит любую часть предоставленного ему пути два раза туда и назад. Так, например, лучи света, идущие от источника (рис. 114), собранные чечевицей L и отраженные от зеркального стекла e, собира-

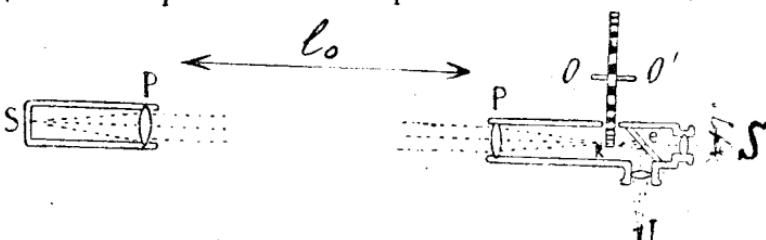


Рис. 114.

ются в изображение на зубце колеса, сидящего на оси $00'$ или в промежутке между зубцами—смотря по положению колеса. Далее, если изображение k оказалось в промежутке между зубцами, свет идет дальше через вторую чечевицу P; проходит расстояние ℓ_0 в несколько километров, отражается от зеркала S, идет обратно и, пройдя сквозь слабо посеребренное зеркало e, дает изображение eS. Если колесо вращается и скорость его вращения такова, что, пока свет проходит путь ℓ_0 туда и назад, промежуток сменится зубцом, то свет в S попадать не будет. Зная скорость вращения, т. е. число оборотов колеса, число зубцов и расстояние ℓ_0 ,

¹⁾ Если прибор для измерения скорости света ab расположен параллельно экватору AEBF (рис. 113), то в положениях A и B прибор расположен перпендикулярно к направлению движения земного шара по BC (вокруг солнца), в положении ab—параллельно; при чем ab направлено в сторону движения BC. a'b' направлено в противоположную сторону. Эти изменения должны были бы сказаться на величине скорости света.

можно определить скорость света. Но не забудем, что свет проходит расстояние ℓ_0 два раза туда и назад.

Вернемся к примеру с поездом и платформой. Мы видели (рис. 112), что если наш поезд шел в ту же сторону, в какую распространялся свет, то скорость света, измеренная наблюдателем в поезде, будет меньше, чем измеренная на платформе. Если только, конечно, время течет одинаково, а мы пока это и предполагаем. Посмотрим, что получится, если поезд идет навстречу лучу (см. рис. 115). Если световой сигнал из А (на платформе) был выпущен в тот момент, когда первое окно первого вагона А¹ поравнялось с А, то в момент, когда

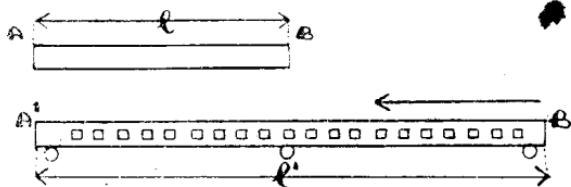


Рис. 115.

свет достигнет другого конца платформы В, там будет конец поезда В¹. Наблюдателю в поезде покажется, что свет прошел больший путь ℓ^1 , больше чем на платформе. Таким образом, на пути луча в одну сторону мы измерим меньшую скорость, а при его возвращении обратно скорость должна получиться больше. Если же луч света каждое расстояние проходит два раза, то значительная часть влияния движения земли на скорость света будет уничтожена. В самом деле, если мы измеряем скорость света на движущейся со скоростью v земле, и свет идет один раз в одну сторону, другой раз навстречу, то время, затраченное на путь туда и назад, будет мало отличаться от того времени, которое затратил бы свет при том же пути на земле, если бы она не двигалась. Таким образом, при условии, что свет идет взад и вперед, трудно показать влияние движения земли на скорость света. Теория показывает, что некоторое влияние движения земли, хотя и очень малое, должно остаться. Но, если бы даже и этот остаток влияния движения земли не был обнаружен, а так именно и получалось, как казалось в опыте, проделанном Майкельсоном в Америке, то это все-таки еще не доказывает, что движение земли не оказывает влияния на скорость света. Так, например, Лорентц и Фиц-Джеральд показали, что, исходя из соображений, основанных на электронной теории, все тела, хотя и очень немного, должны

сокращаться в направлении движения. Другие исследователи полагали, что опыт Майкельсона потому не удался, что на распространение света оказывает некоторое влияние воздух, который переносится вместе с земным шаром. Свет распространяется в эфире, не участвующем в движении земли, но воздух, движущийся вместе с землей, изменяет скорость движения света: мы ведь знаем, что стекло, вода и другие тела влияют на скорость света. Словом, обяснений оставалось и остается еще много и помимо Эйнштейна. Так это дело обстояло вплоть до весны 1925 года. В апреле 1925 года Дейтон-Миллер повторил опыт Майкельсона на высоте 1800 метров над уровнем моря и установил влияние движения земли¹⁾.

Он мог установить не только движение земли вокруг солнца, но и движение всей солнечной системы по направлению к созвездию Геркулеса. Это опровергает основное положение теории Эйнштейна о независимости скорости света от состояния движения измеряющего эту скорость наблюдателя. А следовательно, отпадают и все выводы, касающиеся изменения хода часов, а также и изменения линейных размеров.

Теперь мы уже, на основании опыта, можем сказать, что специальная теория Эйнштейна опровергнута, хотя сторонники теории продолжают надеяться на то, что, может быть, Дейтон-Миллер ошибся. На чем же, спрашивается, основывались и основываются выпады против материализма на почве этой теории? Прежде всего, раз ход часов и ход времени вообще, по Эйнштейну, зависит от состояния движения наблюдателя, то времени, как такового, единого для всех нет! Есть время для меня, для каждого из вас, так как каждый из вас движется по разному. То же относится и к пространству: если я со своим аршином двигаюсь, то как бы быстро я ни двигался, я не узнаю никогда, что размеры вагона сократились. Это может заметить только наблюдатель, не принимающий участия в этом движении. Для него вагон сократился, для меня — нет! Можно ли говорить о пространстве вообще при таких условиях? Можно говорить о пространстве так же, как и о времени, для меня,

¹⁾ Чем выше над уровнем моря стоит прибор, тем больше влияние движения земного шара. Причина этого окончательно еще не выяснена. Может быть — эфир все-таки увлекается вблизи поверхности земного шара, а, может быть — уменьшается влияние воздуха, т. к. на горах воздух более редкий.

для каждого из вас в отдельности. А так как все, что мы видим, находится в пространстве и во времени, то, значит, не существует какой-то единой природы, *а существует природа для одного человека, для другого, для третьего и т. д.* Отсюда для нас прямая дорога к выводу: бытие определяется нашим сознанием!

Далее, положение Эйнштейна о независимости величины скорости света от движения земли (опровергнутое теперь опытами Дейтон-Миллера) отрицает эфир. В самом деле, если свет распространяется в эфире, то является вопрос, движется ли он или нет вместе с телами? Так как скорость света, измеренная наблюдателем на платформе, одинакова с той, какую измерил наблюдатель в вагоне, этого ведь и требует, как мы видели, теория Эйнштейна, то выходит, что эфир одновременно и стоит вместе с платформой и он же движется с поездом. Это все равно, что говорить: я еду в Ленинград в скором поезде и в то же время сижу в Москве на станции Октябрьской железной дороги! Чтобы выйти из затруднения, Эйнштейн сначала заявлял открыто—никакого эфира нет. Существования волн света и радиотелеграфа он не отрицал—факты ведь отрицать немного трудно. А если так, то это значит—допускать волны, не допуская того, что волнуется—допускать движение, отрицая то, что движется. Мыслить движение без материи это во всяком случае не материализм!

В последнее время Эйнштейн стал признавать эфир, но такой, к которому неприложимо даже самое понятие движения! Тогда наш вопрос о том, движется ли или нет эфир, отпадает: об этом просто запрещено спрашивать. Утверждать существование чего-либо, к чему неприложимо понятие движения, значит—опять сбиваться с материалистического пути.

Наконец, утверждение, что опыт, доказывающий движение земли, не может удастся, служило тормозом для развития науки. За последние двадцать лет никто, кроме Дейтон-Миллера и Ленара с его школой, не отваживался идти против авторитета Эйнштейна. Определять движение земли с помощью измерения скорости света, т.-е. то, что теперь сделано Дейтон-Миллером, считалось чем-то в роде бесплодной погони за вечным движением (*перpetuum mobile*).

Рассмотрим теперь вкратце, в чем состоит всеобщий принцип Эйнштейна. Пусть мы вертимся на диске, как на

карусели (см. рис. 116). Мы испытываем действие центробежной силы и по этому действию могли бы, казалось, определить, что мы „на самом деле“ вращаемся. Эйнштейн возражает

против этого: может быть, вы и правы, говорит он, но, может быть, карусель стоит, а весь мир вращается вокруг него только в обратную сторону, и это движение мира сопровождается появлением силы, которую вы назы-

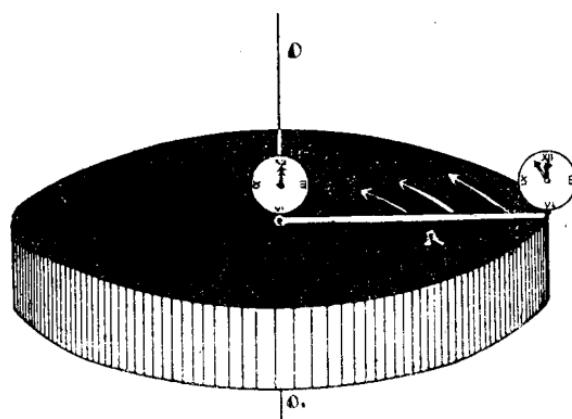


Рис. 116.

ваете центробежной. Можно ли это проверить? Для этого надо завернуть весь мир вокруг нас! А пока вы этого не сделали, говорит Эйнштейн, вы не опровергли меня. Далее, пусть вблизи от оси карусели стоят часы А, а на окружности часы В. Так как часы А почти не будут двигаться в то время, как часы В будут описывать круги вокруг оси ОО, то, согласно прежним предположениям Эйнштейна, часы В будут отставать по сравнению с А, и поэтому мы узнаем, что карусель вертится „на самом деле“, а не вселенная вокруг него.

Однако, и это возражение устраняется Эйнштейном: то, что вы называете центробежной силой, равно как и та сила, которая появляется от движения вселенной вокруг карусели, влияет на ход часов так, что вы все равно ничего не узнаете.

Далее, если мы измерим длину окружности S , то она получится у нас более короткая: в направлении движения происходит укорачивание всех размеров. Что же касается длины радиуса R , то она останется прежней¹⁾. Таким образом, обыкновенное соотношение, известное из геометрии—длина окружности S =поперечнику $2R$, умноженному на чи-

¹⁾ Здесь молчаливо делается допущение, что ускорение (а движение по кругу есть ускоренное движение (см. I часть, лекция V, стр. 82–83) не влияет на длину. На это обстоятельство обратил внимание тов. Г. А. Харузов. Вестник Комм. Акад. № 10.

слово $\pi = (22/7$ или $3,1415)$, не оправдывается, а по Эйнштейну и не должно оправдываться. Там, где действует сила тяжести, центробежная сила или та сила, которая должна появиться вследствие вращения вселенной вокруг нашего диска (рис. 116), геометрия перестает быть геометрией Эвклида, а тогда формула $S = 2\pi R$ неприменима. Можем мы это узнать? Нет. В самом деле, если у нас геометрия не Эвклидова, то все наши прямые линии, кажущиеся нам прямыми, на деле искривлены. Как я проверяю, что палка, которую я держу в руках, действительно прямая? Я смотрю на свет: если луч света все время идет вдоль палки, я говорю—палка прямая, потому что свет идет по прямой линии, а что если в не-евклидовом пространстве и свет идет по искривленным линиям, таким же, по каким искривлена наша палка, которую мы считаем прямой? Как мы тогда докажем, что наша палка прямая или нет? Из всего сказанного ясно, что теория Эйнштейна построена так, что она в значительной своей части не поддается проверке. Остановимся в заключение на трех т. н. „предсказаниях“ теории Эйнштейна. Луч звезды должен по теории Эйнштейна искривляться вблизи поверхности солнца, во-первых, потому, что свет притягивается солнцем, во-вторых—потому, что вблизи солнца геометрия будет не эвклидова, вследствие силы притяжения солнца. А поэтому мы увидим звезду Z (рис. 117) вблизи края солнца (это наблюдают во время полного солнечного затмения) несколько смещенной в Z^1 . Наблюдения, сначала будто бы подтверждавшие теорию Эйнштейна, при дальнейшем исследовании показали, что совпадения теории с наблюдениями далеко не в пользу теории. Самый же факт отклонения объясняется другими причинами столь же удивительно. То же самое можно сказать и о других предсказаниях: неправильности в движении планеты Меркурий и смещении спектральных линий в спектре солнца и звезд в красную сторону спектра.

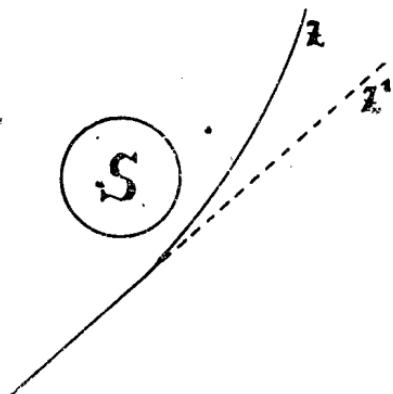


Рис. 117.

Помимо возможности объяснить смещение спектральных линий, независимо от теории Эйнштейна, многие выдающиеся спектроскописты отрицают самый факт этого смещения. Все это показывает, что теория Эйнштейна чисто умозрительного характера, и до чрезвычайности мало связана с фактами. А то, что она предсказала, предсказывается и другими теориями; таким образом, о сколько-нибудь серьезной проверке ее речи быть не может.

Всякий же раз, когда мы отрываемся от действительности, мы рискуем забыть, что все, что мы видим вокруг себя и в самих себе, и в частности все то, чем мы занимались до сих пор в области физики, есть та или другая форма движения той или другой формы материи. Тогда для исследователя, по выражению Ленина, „материя исчезает—остаются одни лишь уравнения“, и мы часто незаметно для себя скатываемся из области науки в область идеалистической философии.

Таблица.

Периодическая система элементов Д. И. Менделеева по новейшим данным.

	1 Водород $H=1,008$										
2 Гелий $He=4,00$ (4)	3 Литий $Li=6,94$ (6,7)	4 Берилий $Be=9,1$	5 Бор $B=10,9$ (10,11)	6 Углерод $C=12,00$ (12)	7 Азот $N=14,01$ (14)	8 Карбон $O=16,00$ (16)	9 Фтор $F=19,00$ (19)				
10 Неон $Ne=20,2$ (20,22)	11 Натрий $Na=23,00$	12 Магний $Mg=24,32$ (24, 25, 26)	13 Алюминий $Al=27,2$	14 Кремний $Si=28,3$ (28,29)	15 Фосфор $P=31,04$ (31)	16 Сера $S=32,06$ (32)	17 Хлор $Cl=36,46$ (35,37)				
18 Аргон $A=39,88$ (36,40)	19 Калий $K=39,$ (39,41)	20 Кальций $Ca=40,07$ (40,44)	21 Скандий $Sc=44,1$	22 Титан $Ti=48,1$	23 Ванадий $Va=51,06$	24 Хром $Cr=52$	25 Марганец $Mn=54,93$	26 Железо $Fe=55,85$	27 Кобальт $Co=58,97$	28 Никель $Ni=58,68$ (58,60)	
	29 Медь $Cu=63,57$ (64,66,68,70)	30 Цинк $Zn=65,37$ (64,66,68,70)	31 Галлий $Ga=69,9$	32 Германий $Ge=72,5$	33 Мышьяк $As=74,96$ (75)	34 Селен $Se=79,2$	35 Бром $Br=79,92$ (79,81)				
36 Криптон $Kr=82,92$ (78, 80, 82, 88, 84, 86)	37 Рубидий $Rb=85,45$ (85,87)	38 Стронций $Sr=87,83$	39 Иттрий $I=88,7$	40 Циркон $Zr=90,6$	41 Ниобий $Nb=93,5$	42 Молибден $Mo=96,0$	43 Мазурий (откр. в 1925 г.)	44 Рутений $Ru=101,7$	45 Родий $Rh=102,9$	46 Палладий $Pd=106,7$	
	47 Серебро $Ag=107,88$	48 Кадмий $Cd=112,4$	49 Индий $In=114,8$	50 Олово $Sn=118,7$	51 Сурьма $Sb=120,2$	52 Теллур $Te=127,5$	53 Иод $Id=126,92$				
54 Ксеноны $Xe=130,2$ (128, 130, 131, 132, 134, 136)	55 Цезий $Cs=132,81$	56 Барий $Ba=137,37$	57 Лантан $La=139,0$	58 Церий $Ce=140,25$	59 Празеодим $Pr=140,6$	60 Неодим $Nd=144,3$	61 ?				
	62 Самарий $Sa=150,4$	63 Европий $Eu=152,0$	64 Гадолиний $Gd=157,3$	65 Тербий $Tb=159,2$	66 Диспрозий $Ds=162,5$	67 Хольмий $No=163,5$	68 Эрбий $Er=167,7$				
	69 Туллий $Tu=168,5$	70 Иттербий $Ad=173,5$	71 Лютесций $Lu=175$	72 Кельтин $Ke=178$	73 Тантал $Ta=181,5$	74 Вольфрам $W=184,0$	75 Рений (откр. в 1925 г.)	76 Оsmий $Os=190,9$	77 Иридиум $Ir=193,1$	78 Платина $Pt=195,2$	
	79 Золото $Au=197,2$	80 Ртуть $Hg=200,6$ (197 ... 204)	81 Таллий $Th=204$ (IV)	82 Свинец $Pb=207,2$ (XI)	83 Висмут $Bi=209$ (V)	84 Поллоний Pol (VII)	85 ?				
86 Эманация радия $Em=222$ (III)	87 ?	88 Радий $Rd=226$ (IV)	89 Актиний $Act=$ (II)	90 Торий $Th=232,15$ (VI)	91 Уран XII (II)	92 Уран $Ur=238,2$ (II)					

Крупные цифры в верхнем левом углу каждой клетки означают порядковое число элемента, совпадающее с числом элементарных положительных свободных зарядов ядра атома. Числа, стоящие после знака равенства, означают атомный вес по данным химического анализа. Числа в скобках означают атомные веса изотопов—разновидностей данного элемента по измерениям Астона. Там, где атомные веса не вполне установлены, в скобках стоит только число изотопов (римские цифры).

ОГЛАВЛЕНИЕ.

	Стр.
Предисловие	I
Лекция первая	3
Простейший источник электрического тока. Указатель и измеритель тока. Единица силы тока—ампер. Единица сопротивления—ом. Напряжение и его измерение. Единица напряжения—вольт. Сравнение электрического тока—с током воды в водопроводе. Закон Ома.	
Лекция вторая	18
Работа, производимая напором воды в водопроводе. Работа силы тока. Превращение энергии тока в тепло. Закон Джоуля. Измерение энергии и мощности тока. Килоуатт. Практические применения превращения энергии тока в тепло.	
Лекция третья	33
Естественные и искусственные магниты; строение магнита. Временное намагничение. Понятие о магнитном поле и его исследовании. Теория Фарадея. Магнитное поле электрического тока. Электромагнит. Связь магнитных явлений с электрическими. Электрический двигатель или мотор.	
Лекция четвертая	53
Электромагнитная индукция. Опыты Фарадея. Закон Ленца. Принцип динамо-машины. Постоянный и переменный ток. Трансформатор. Преимущества переменного тока. Передача энергии на расстояние.	
Лекция пятая	68
Теория электронов. Электрические заряды положительные и отрицательные. Взаимодействие зарядов. Электризация через влияние. Объяснение электризации через влияние. Электроны. Опыты Тольмана. Конденсатор. Заряжение конденсатора гальваническим элементом. Опыт Эйнштейна и Де-Гааза. Явление Голла. Действие гальванического элемента.	
Лекция шестая	85
Применения теории электронов. Явление Эдиссона. Электронная лампа. „Катодные лучи“. Заряд и масса электрона. Скорость электронов в катодном пучке. Положительно заряженные частицы. Строение атома. Опровергает ли электронная теория материализм?	
Лекция седьмая	97
Волнообразное движение. Скорость распространения волны; колебательное движение. Какие колебания вызывают ощущение звука. Передача колебаний через воздух. Методы изучения колебательных движений. Прибор для записи колебаний по системе Лебедева. Чем отличаются различные звуки друг от друга. Передача звуков на расстояние. Телефон.	

Лекция восьмая	10
Волны и их отражение. Отражение волн от вогнутого зеркала.	
Главный фокус. Изображение в вогнутом зеркале. Отражение волн звука. Отражение волн лучистого тепла. Отражение света. Стоячие волны. Узла и пучности. Стоячие волны звука. Трубка Кундта. Стоячие волны света—опыты Винера. Дифракционная решетка. Явление дифракции света в природе. Доказательства волнообразной природы света.	
Лекция девятая	122
Состав белого света; цвета радуги. Явление преломления света и его объяснение. Получение спектра с помощью стеклянной призмы. Явление радуги. Преломление света в оптическом стекле. Призма прямого зрения. Спектроскоп. Невидимые части спектра: инфра-красные и ультра-фиолетовые лучи. Спектральные линии и их обращение. Принцип резонанса. Спектр солнца.	
Лекция десятая	135
Процесс передачи электрического тока. Колебательное движение. Электромагнитные колебания. Резонанс. Как получить электромагнитные волны и как их обнаружить. Опыты с электромагнитными волнами. Радио-телефон. Применение катодной лампы. Свет как электромагнитное явление. Явление Зеемана. Обзор электро-магнитных волн.	
Лекция одиннадцатая	148
Радиоактивные вещества. Потоки α и β частиц; γ лучи. Спинтарископ Крукса. Подсчет числа атомов в кубическом сантиметре газа. Масса атома. Как определить размеры атома? Ядро атома и окружающие его электроны Явление ионизации. Периодическая система элементов.	
Лекция двенадцатая	160
Борьба вокруг теории Эйнштейна. Принцип относительности Галилея-Ньютона. Специальная теория относительности. Постоянство скорости света. Как измеряется скорость света. Почему теория Эйнштейна отрицает существование эфира. Всеобщий принцип Эйнштейна. Доказан ли этот принцип на опыте. Принцип относительности и материализм.	