

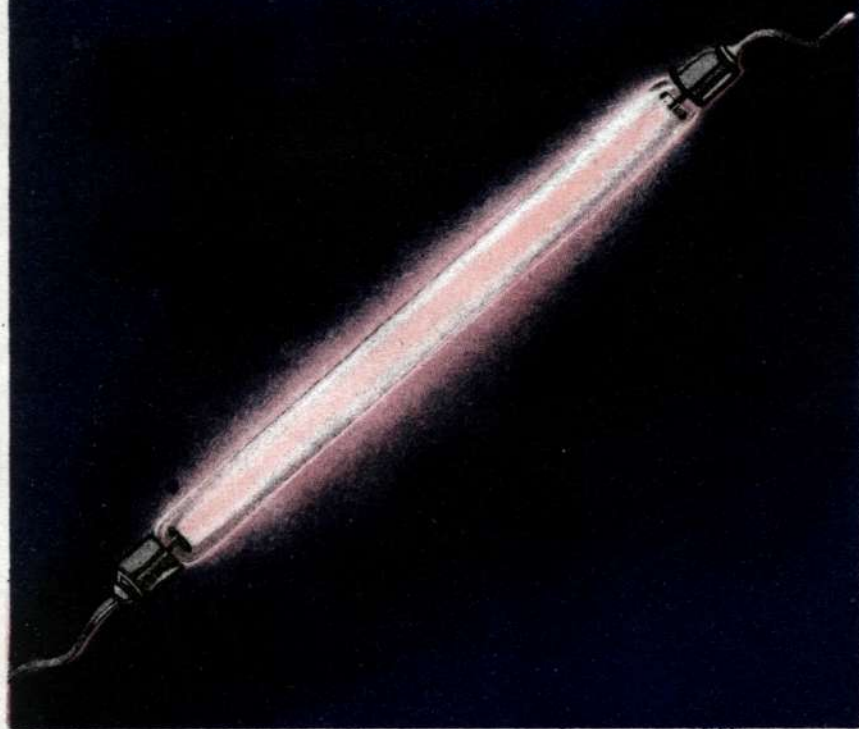
W75

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ
БИБЛИОТЕКА



В.И. ГАПОНОВ

Электронь



НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ БИБЛИОТЕКА

В. И. ГАПОНОВ

Кандидат физико-математических наук

ЭЛЕКТРОНЫ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1949 ЛЕНИНГРАД

СОДЕРЖАНИЕ

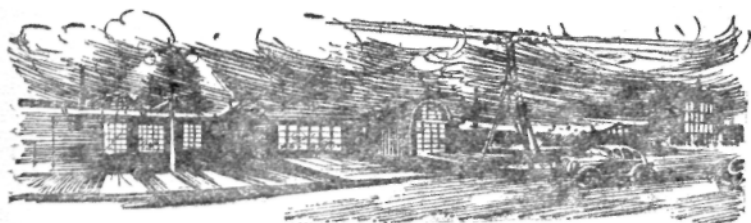
Введение	3
1. Электрические заряды и электрический ток.	4
2. Электричество в атомах.	7
3. Как размещены заряды в атомах.	10
4. Существуют ли атомы электричества?	15
5. Свободные электроны.	17
6. Как управляют электронами.	21
7. Электрический ток.	27
8. Электроны и свет.	34
9. Ток в газах	36
10. Электронные приборы.	40
Заключение.	47

Редактор *А. И. Суслова.*

Техн. редактор *Л. А. Кушнер.*

Подписано к печати 6/Х 1949 г. 3 печ. л. 2,7 уч.-изд. л. 35 937 тип. зн.
в печ. л. А-11799. Тираж 200 000 экз. Цена 80 коп. Заказ № 1814

3-я типография «Красный пролетарий» Главполиграфиздата при Совете
Министров СССР, Москва, Краснопролетарская, 16,



ВВЕДЕНИЕ

В воздухе, воде и земле, на далеких звездах и в телах всех живых существ — в каждом атоме любого вещества есть электроны, главные «действующие лица» нашего рассказа.

Электроны — это заряженные частицы крайне малых размеров. Сейчас наука достоверно знает, что электроны, вместе с другими частицами, протонами и нейтронами, входят в состав атомов, из которых состоят все окружающие нас тела и мы сами. Поэтому можно сказать, что электроны, протоны и нейтроны являются теми «кирпичиками», из которых построен весь мир.

Люди уже в глубокой древности были знакомы с электрическими явлениями. С половины прошлого века началось использование электричества в технике. Однако только в последней четверти XIX века наука доказала, что в любом электрическом явлении участвуют электроны и электрический ток представляет собой не что иное, как поток электронов.

С тех пор учёные подробно изучили свойства этих мельчайших частиц вещества и довели умение управлять ими до высокой степени совершенства.

Теперь мы на каждом шагу пользуемся службой электронов. Направляя электрический ток к лампам и моторам, мы заставляем электроны освещать улицы и дома, приводить в движение различные машины.

Построены замечательные приборы, которые дают возможность слышать голос человека, находящегося за тысячи километров от нас (радио), передавать на расстоя-

ние изображения (телевидение), определять местоположение невидимой цели (радиолокация) и многое другое.

Электричество прочно вошло в жизнь современного общества.

Что же такое электроны? Какова их природа? Как человек управляет ими? Об этом и рассказывается в нашей книжке.

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЗАРЯДЫ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Прежде чем рассказать об открытии электрона, полезно будет напомнить кое-что об электрических зарядах и электрическом токе.

Одним из первых успехов науки об электричестве было установление того факта, что в природе существуют два рода электрических зарядов, которые получили название положительного (знак $+$) и отрицательного (знак $-$) электричества. Многим из читателей, вероятно, памятли простые школьные опыты с сургучными и стеклянными палочками, которые приобретают электрические свойства при натирании их мехом или кожей.

Первое, что бросается в глаза в этих опытах, это то, что наэлектризованные тела отталкиваются или притягиваются друг к другу.

Электрические заряды взаимодействуют друг с другом по очень простому правилу: между зарядами разных знаков возникают силы притяжения, а между зарядами одного и того же знака — силы отталкивания. И те и другие силы очень быстро убывают с расстоянием. Например, если расстояние между зарядами увеличивается в два раза, то сила взаимодействия между ними уменьшается вчетверо; если расстояние возрастает втрое, то сила уменьшается в девять раз и т. д. При возрастании расстояния в сто раз сила уменьшается уже в 10 000 раз.

По силам, действующим между заряженными телами, можно легко узнать, какой знак имеет заряд; для этого нужно иметь только «пробные заряды» — какие-нибудь лёгкие тела (например, подвешенные на ниточках бумажные шарики), которым сообщён заряд уже известного знака. Шарики или отталкиваются от заряженного тела или, наоборот, притягиваются к нему, смотря по тому,

какого знака заряд этого тела. Посмотрите на рис. 1 и попробуйте ответить, какой заряд имеет металлический шар.

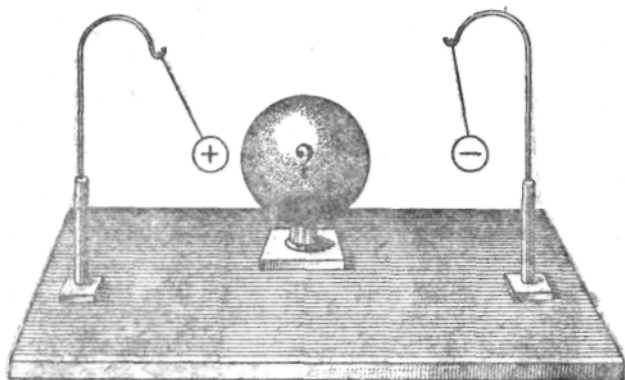


Рис. 1. По отклонению пробных зарядов можно определить знак заряда шара.

С помощью таких пробных зарядов можно решить и более трудную задачу. Допустим, что в картонной ко-

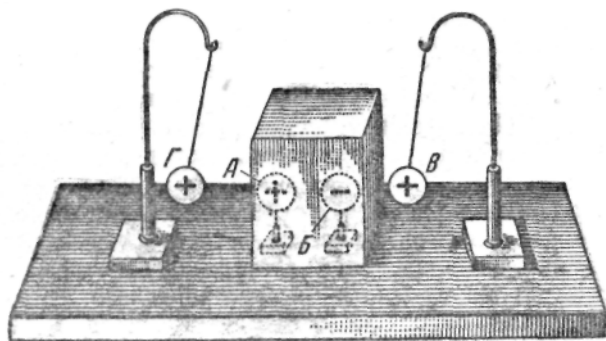


Рис. 2.

робке спрятаны два разноимённо заряженных шарика *A* и *B* на расстоянии одного сантиметра друг от друга (рис. 2). Заряды их равны по величине. Каким путём можно узнать, есть ли в коробке заряды и как они расположены?

Поместим положительный пробный заряд в место, обозначенное буквой *B*, на расстояние одного сантиметра от шарика *B* и, значит, в двух сантиметрах от *A*. Сила притяжения пробного заряда к *B* будет вчетверо больше силы отталкивания от *A*. И хотя сила отталкивания будет уменьшать силу притяжения, всё же наш пробный заряд приблизится к коробочке.

Теперь поместим тот же пробный заряд в место, обозначенное буквой *L*. Положительный заряд, спрятанный в коробке, оттолкнёт его. Таким образом, мы можем заключить, что в коробке есть два разноимённых заряда: положительный—слева и отрицательный — справа.

Но если мы будем помещать пробный заряд далеко от коробки, обе силы — и притяжения и отталкивания — будут так малы, что пробный заряд не «почувствует» их действия, тем более, что обе силы направлены в противоположные стороны. Для успеха этого опыта необходимо применить подходящее «пробное тело» и поднести его достаточно близко к исследуемым зарядам.

Опыт показывает, что при трении любых двух тел электризуются всегда оба тела и таким образом, что заряды обоих тел равны по величине и противоположны по знаку. Это сразу наводит на мысль, что при трении заряды не создаются вновь, а просто разделяются. Иными словами, всякое незаряженное тело включает в себе равное количество положительных и отрицательных зарядов. При трении часть зарядов переходит от одного тела к другому, и тела оказываются заряженными разноимённо.

Особую роль в развитии науки сыграло изучение движения зарядов внутри вещества — электрического тока. Практическое использование электричества почти целиком основано на применении электрического тока, поэтому развитие науки об электричестве шло в тесной связи с электротехникой.

Было установлено, что среди различных веществ имеются проводники электрического тока и изоляторы; что вблизи проводника, по которому течёт ток, обнаруживаются магнитные силы, а внутри самого проводника непрерывно выделяется тепло.

Электрический ток был быстро внедрён в практику: с помощью тока были получены новые элементы (калий,

натрий), русский учёный академик В. В. Петров в 1802 г. открыл электрическую дугу (дуга Петрова), появились телеграф и телефон; благодаря трудам русских изобретателей Яблочкова и Ладыгина получило широкое распространение электрическое освещение; появились мощные электростанции: заводы стали оснащаться электродвигателями. Десятнадцатый век стали по праву называть веком электричества.

Для развития электротехники необходимо было глубокое понимание природы электрических явлений. Учёные неутомимо занимались их изучением.

Важнейшим успехом науки в этой области надо считать открытие электронов и выяснение их роли во всех электрических явлениях.

2. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО В АТОМАХ

В тридцатых годах прошлого века при изучении действия тока на различные растворы учёные впервые столкнулись с одним очень интересным явлением. Это яв-

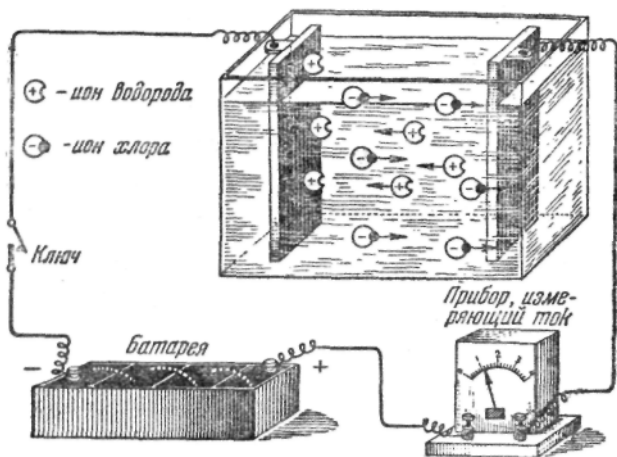


Рис. 3. Через раствор соляной кислоты идёт электрический ток.

ление можно обнаружить в следующем простом опыте.

Нальём в стакан (рис. 3) крепкий раствор соляной кислоты (соляная кислота — это химическое соединение

водорода с хлором) и опустим туда две платиновые пластинки — электроды. Соединим их с полюсами какого-нибудь источника постоянного электрического тока, например, батареи. Мы увидим, что на электродах начнут появляться пузырьки газов. На электроде, соединённом с положительным полюсом батареи, выделяется газ хлор, а на отрицательном — водород.

Будем пропускать через раствор соляной кислоты ток силой в один ампер. Это значит, что каждую секунду через раствор проходит громадный электрический заряд, равный одному кулону.

Заметим кстати, что ток силой в один ампер — это сравнительно слабый ток. В технике часто приходится иметь дело с токами в десятки тысяч ампер.

Но если бы нам удалось получить два заряда в один кулон каждый на двух телах, удалённых один от другого на целый километр, то они оттолкнулись бы или притянулись (в зависимости от знаков зарядов) с силой приблизительно в 900 килограммов. Практически такие заряды получить нельзя. В рассмотренных нами опытах по электризации трением мы имеем дело с зарядами, которые едва ли достигают стомиллионных долей кулона.

Если собрать и взвесить весь хлор, который выделился при прохождении через раствор одного кулона электричества, то оказалось бы, что на электроде выделилось 0,367 миллиграмма хлора. Когда через раствор пройдёт 10 кулонов электричества, хлора выделится ровно в 10 раз больше, то-есть 3,67 миллиграмма. То же самое можно заметить и на отрицательном электроде: если через раствор пройдёт один кулон электричества, то выделится одна сотая миллиграмма водорода, а если пройдёт 10 кулонов, то выделится одна десятая миллиграмма водорода, то-есть опять-таки ровно в 10 раз больше. Сколько бы раз мы ни повторяли этот опыт, результат будет один и тот же.

Вместо соляной кислоты можно взять, например, поваренную соль — соединение хлора с металлом натрием — и проделать такой же опыт с раствором этой соли. Оказывается, и в этом случае можно подметить то же самое: при прохождении через раствор одного кулона электричества на положительном электроде всегда выделяется именно 0,367 миллиграмма хлора.

Как можно объяснить это поразительное соотношение? Почему одному и тому же количеству электричества так строго соответствует одно и то же количество вещества?

Вспомним, как построены окружающие нас тела. Все они состоят из мельчайших частиц — атомов. Атомы могут соединяться друг с другом в более сложные частицы — молекулы. Соляная кислота, например, состоит из таких сложных частиц. В каждую молекулу её входит один атом водорода и один атом хлора. Но если оба эти газа начинают выделяться из раствора соляной кислоты под действием тока, то, значит, молекулы соляной кислоты разрушаются, распадаются в растворе на отдельные атомы.

Водород всегда выделяется из раствора на отрицательном электроде. Не означает ли это, что атомы водорода каким-то путём получают в растворе положительный заряд? Тогда они, конечно, будут притягиваться к отрицательному электроду, как притягивается положительно заряженный бузинный шарик к наэлектризованной палочке сургуча.

Так же просто мы можем объяснить и выделение хлора на положительном полюсе: атомы хлора получают отрицательный заряд и поэтому идут к положительному электроду.

Но почему же одинаковое количество электричества, прошедшего через раствор, всегда связано с одним и тем же количеством выделенного у электродов вещества, то-есть с одним и тем же числом атомов? Может быть, и электрический заряд тоже состоит из отдельных атомов электричества? Тогда можно предположить, что каждый атом вещества несёт с собой один или несколько атомов электричества. И если это действительно так, то мы легко объясним результаты опыта: если через раствор прошёл заряд в один кулон, то, значит, этот заряд был перенесён каким-то совершенно определенным числом атомов вещества.

Можно ли узнать, какой заряд несёт с собой через раствор каждый атом, например атом хлора? Можно. Для этого нужно только подсчитать, сколько всего атомов хлора выделилось на электроде. Мы знаем, что если через раствор прошёл один кулон электричества, то

выделилось 0,367 миллиграмма хлора. Вес одного атома хлора, как и вес атома любого другого элемента, хорошо известен; значит, можно подсчитать, сколько атомов находится в таком количестве хлора. Зная число атомов, которые перенесли с собой заряд в один кулон, нетрудно вычислить, какая доля кулона приходится на каждый атом.

Опыты по определению зарядов атомов проводились с растворами самых различных веществ, и вычисления зарядов привели к замечательным результатам. Оказалось, что атом хлора, атом водорода, атом натрия, а также атомы некоторых других веществ несут с собой всегда один и тот же и притом очень маленький заряд.

Он равен всего $1 \times 10^{-19} / 10\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$ кулона (у хлора этот заряд отрицательный, а у водорода и натрия положительный). Есть атомы, у которых заряд ровно вдвое или ровно втрое больше, чем у атомов водорода, но заряд атома никогда не бывает равным полутора, двум с половиной или вообще дробным долям заряда атома водорода.

Какой важный вывод мы можем отсюда сделать? По-видимому, наше предположение о том, что электрический заряд состоит из мельчайших неделимых порций положительного и отрицательного электричества, из атомов электричества, вполне справедливо, и мы вправе считать, что электрические частицы тесно связаны с атомами любых веществ. При растворении эти электрические частицы перемещаются от одного атома к другому так, что один «осколок» молекулы оказывается заряженным положительно, а другой — отрицательно. Такие заряженные осколки молекул были названы ионами, — от греческого слова «ион», означающего идущий, странствующий. Электрический ток в растворах — это два встречных потока положительных и отрицательных ионов.

3. КАК РАЗМЕЩЕНЫ ЗАРЯДЫ В АТОМАХ

Итак, в любом атоме, а значит, и в любой молекуле должны быть мельчайшие электрические частицы. Но почему же окружающие нас тела далеко не всегда обнаруживают свой заряд? Это можно объяснить очень про-

сто. Электрические заряды атомов не дают о себе знать потому, что положительный заряд в атоме в точности равен отрицательному, и действия обоих зарядов уже на большом расстоянии от атома взаимно погашаются — заряды нейтрализуют друг друга. Однако в некоторых случаях, например при растворении, при нагревании, атомы могут терять или присоединять одну или несколько электрических частиц и превращаться в заряженные осколки — ионы.

Теперь постараемся выяснить, какие электрические частицы может терять или приобретать атом — положительные или отрицательные. Чтобы решить этот вопрос, мы должны узнать, как расположены заряды в атоме, как построен сам атом.

В первом разделе нашей книжки мы уже решали задачу о распределении зарядов, спрятанных в картонной коробке. Такая же по существу задача стоит перед нами и сейчас. Разница только в масштабах. Атомы имеют размеры в несколько стомиллионных долей сантиметра. Значит, и внутриатомные заряды, помещены друг от друга на расстоянии не в один сантиметр, как в коробочке, изображённой на рисунке 2, а в сто миллионов раз ближе. Примерно на такое расстояние и нужно «подобраться» к атому с пробным зарядом. Да и сам пробный заряд должен быть не тяжелее атома, иначе он будет слишком груб — его не сдвинут электрические силы атома. Сделать такой заряд не по силам человеческому искусству, но, по счастью, на помощь здесь пришла сама природа. Пробные заряды доставили нам радиоактивные вещества. Испускаемые этими веществами альфа-частицы оказались вполне подходящими для «прощупывания» внутриатомных зарядов. Альфа-частицы достаточно малы и легки. Скорости их огромны: встречаются альфа-частицы, летящие со скоростью 20 000 километров в секунду. Альфа-частицы имеют положительный электрический заряд. Таким образом, они вполне подходят для исследования строения атома.

Но как провести опыт? Увидеть отдельные атомы и альфа-частицы нельзя даже в самый сильный микроскоп. А ведь мы должны заглянуть внутрь атома и по поведению альфа-частиц узнать, как расположены в атоме заряды.

Прежде всего надо было найти способ, как следить за путями альфа-частиц. Это сделать удалось. Есть вещество — сернистый цинк, — которое обладает интересным свойством: если на него надаёт альфа-частица, оно светится — даёт кратковременную вспышку. По вспышке можно узнать, куда попала вылетевшая из крупинки радиоактивного вещества альфа-частица, а зная это место, можно, очевидно, сообразить, по какому пути она летела, хотя в полёте и оставалась невидимой.

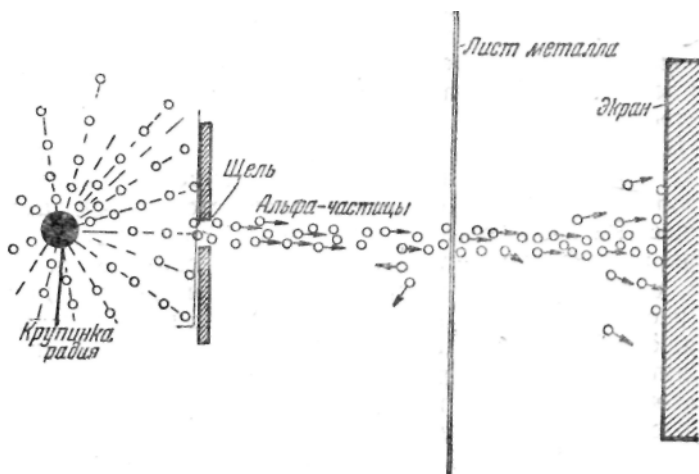


Рис. 4.

Затем следовало отыскать подходящую для альфа-частицы мишень. Такой мишенью послужил очень тонкий, толщиной в тысячную долю миллиметра, листок металла.

Установка для опыта была собрана так, как схематически показано на рис. 4. Большая чёрная точка слева — крупинка радиоактивного элемента радия. Из неё по всем направлениям непрерывным потоком вылетают альфа-частицы. Щель, прорезанная в толстой металлической пластинке, пропускает узкий «луч» альфа-частиц. Он падает на мишень — тонкий листок металла. А за листком поставлен экран, покрытый сернистым цинком.

И вот оказывается, что тонкий листок металла — не препятствие для несущихся с огромной скоростью альфа-

частиц. Они пронизывают листок насквозь и, падая на середину экрана, дают яркое свечение. Это навело ученых на мысль, что атом вовсе не является сплошной частицей вещества, а состоит из отдельных частей, разделённых пустым пространством, через которое альфа-частицы могут свободно пролетать.

Но некоторые альфа-частицы ведут себя иначе. Они отклоняются от прямого пути. Это видно из того, что в других местах экрана тоже вспыхивают и гаснут отдельные искорки — следы ударов альфа-частиц, изменивших своё направление. Большинство частиц лишь немного меняет направление своего полёта, но есть и такие, которые отклоняются сильно, а некоторые отскакивают назад. Как это объяснить?

Альфа-частица заряжена положительно. Значит, отклонить её может только некоторый положительный заряд в атоме, или, точнее, положительно заряженная часть атома, более тяжёлая, чем сама альфа-частица. Эту часть атома называют ядром. Если альфа-частица налетает прямо на ядро, «лобовым ударом», то она может быть отброшена назад. Поскольку таких частиц в нашем опыте мало, мы делаем заключение, что попадание в ядро — редкий случай. А это свидетельствует о том, что размеры ядра очень малы.

Теперь картина прохождения альфа-частиц через металлический листок ясна: частицы, не испытавшие отклонения от прямолинейного пути, прошли вдали от атомных ядер. Частицы, отклонившиеся в сторону, прошли на небольших расстояниях от ядер, и очень немного частиц попало прямо в ядро и было отброшено назад.

Таким образом, опыт с обстрелом атома альфа-частицами доказывает нам, что положительные заряды атома сосредоточены в маленьком тяжёлом ядре. А отрицательные? Они не дают о себе знать в этом опыте. Они совершенно не действуют на альфа-частицу, не могут притянуть её к себе. И нам остаётся заключить, что отрицательные заряды в виде лёгких мельчайших частиц распределены вокруг ядра. Эти мельчайшие частицы отрицательного электричества и были названы электронами.

Как же теперь мы должны представлять себе строение атома? — В центре атома находится ядро. В нём заклю—

чены все положительные заряды атома и почти вся его масса (рис. 5). А вокруг ядра располагаются электроны.

Электроны составляют оболочку атома, легко проникаемую для альфа-частиц. Исходя из этого, мы можем предположить, что именно электроны, как более лёгкие и поэтому более подвижные, слабее связаны с атомом и могут переходить от одного атома к другому.

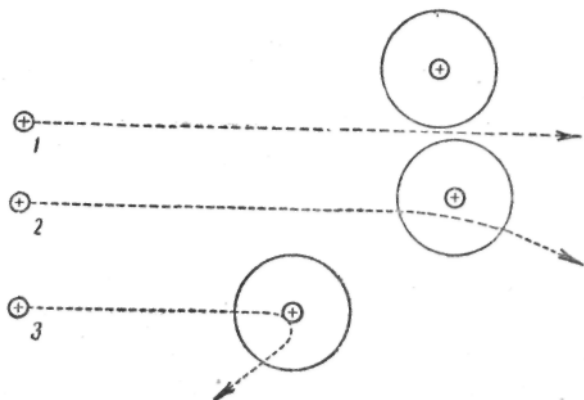


Рис. 5. Альфа-частицы встречают на своём пути атомы металла. Цифрами 1, 2 и 3 обозначены альфа-частицы; большие кружки — атомы, в центре их — положительно заряженные ядра.

Опыты это полностью подтвердили. Оказалось, что многие атомы, например атомы металлов, легко теряют часть своих электронов. Это происходит и при нагревании, и при освещении, и при действии тех же альфа-частиц. Другие же атомы, наоборот, более склонны присоединять к своей оболочке лишние электроны. Как отрыв, так и присоединение электронов к атому называют ионизацией (потому что атом при этом превращается в ион).

Теперь мы можем ответить и на вопрос о том, как из молекулы соляной кислоты при растворении получаются положительный ион водорода и отрицательный ион хлора. Атом водорода отдаёт электрон атому хлора, и в результате в оболочке атома хлора оказывается избыток отрицательных зарядов (по сравнению с количеством положительных зарядов в ядре), а водородный атом становится

положительно заряженным ионом. Так как водородный атом отдал только один электрон, а атом хлора получил этот электрон, то очевидно, что заряды полученных ионов равны заряду электрона.

4. СУЩЕСТВУЮТ ЛИ АТОМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА?

Определяя заряды различных ионов с помощью опыта прохождения тока через растворы, учёные никогда не обнаруживали ионов, заряд которых был бы равен какой бы то ни было дробной части заряда электрона. Казалось бы, что этот факт должен определённо указывать на то, что электрон — это самый маленький электрический заряд, который уже не делится на более мелкие, и в природе действительно есть электрические атомы. Однако у ученых ещё оставалось сомнение в существовании таких электрических частиц. В самом деле, предположим, что мы находим заряд иона из опыта прохождения тока через раствор. Нам нужно знать, сколько всего электричества прошло через раствор и сколько вещества выделилось на каком-нибудь из электродов. Это мы можем измерить очень точно. Но в этих опытах мы имеем дело с огромными количествами ионов. Ведь даже в пузырьке газа радиусом всего в одну десятую миллиметра при обычном атмосферном давлении находится больше двухсот тысяч миллиардов атомов. И, может быть, среди огромного числа ионов, прошедших через раствор, есть такие ионы, которые несут с собой неодинаковые по величине заряды, и только в среднем на каждый ион приходится целое число мельчайших зарядов.

Чтобы уничтожить это сомнение, нужно было найти способ измерить заряд только одного иона. Это удалось сделать с помощью очень чувствительного прибора — «электрического силомера». Вот как проводился этот опыт.

В наглухо закрытой камере укрепляются две металлические пластинки (рис. 6). В отверстие верхней пластинки из пульверизатора вбрызгиваются очень маленькие капельки масла. Масло берётся потому, что оно медленно испаряется и вес каждой капельки во время опыта остаётся постоянным. Под действием собственной тяжести капельки опускаются на нижнюю пластинку. Сквозь

маленькое окошечко в стенке камеры можно наблюдать с помощью микроскопа за движением отдельных капелек.

Некоторые капельки, благодаря трению при вдувании масла, приобретают электрический заряд, подобно тому как при трении о кожу заряжается стеклянная палочка. Предположим, что капелька вышла из пульверизатора заряженной отрицательно. Если верхнюю пластинку в камере зарядить от батареи положительно, а нижнюю отрицательно, то сила электрического притяжения, действующая

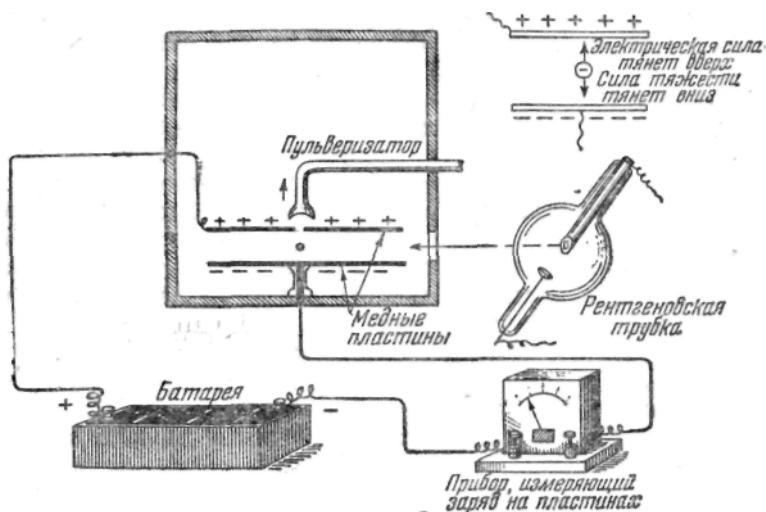


Рис. 6. Схема опыта по определению заряда электрона.

щая на капельку, будет направлена вверх, против силы тяжести (рис. 6 в верхнем правом углу). Подключая большее или меньшее количество элементов батареи, можно менять заряды на пластинках, и, значит, величину электрической силы, поднимающей капельку вверх. Можно подобрать заряды на пластинках так, что электрическая сила окажется в точности равной силе тяжести капельки; обе силы будут уравновешены, и капелька неподвижно повиснет между пластинками. Теперь, зная величину заряда на пластинках, можно вычислить и заряд капельки. И вот оказалось, что всегда, в тысячах опытов, какой бы ни был заряд капли — положительный

или отрицательный, он состоял из целого числа зарядов электрона. Значит, при электризации от трения капелька или приобретала, или теряла только целое число электронов.

Следующий опыт начинался с того, что воздух в камере освещался рентгеновскими лучами. Под действием лучей молекулы воздуха теряли свои электроны, и в камере появлялись положительные ионы. Они блуждали по камере, и время от времени случалось так, что один из ионов попадал на неподвижную капельку с уже известным, допустим, отрицательным, зарядом, за которой велось наблюдение. Тогда заряд капли убывал и как раз на величину заряда иона. Капелька сейчас же начинала двигаться. Для того чтобы снова уравнивать силу тяжести капельки и силу электрического притяжения, приходилось менять заряд на пластинках. Опять подсчитывался заряд капельки. Разница между этим и первоначальным зарядом капли и была равна заряду захваченного иона.

Эти опыты также проводились много раз, и во всех опытах всегда заряд иона оказывался точно равным одному «атому электричества».

Места для сомнений теперь не оставалось. Ведь здесь наблюдения велись не над миллиардами ионов, как в опытах с прохождением тока через растворы, а над одной капелькой. И капелька всегда несла с собой только целое число мельчайших зарядов: пятьдесят, десять, три, а иногда — только один.

Так было окончательно доказано, что электрон — это действительно самая маленькая и неделимая частица электричества.

5. СВОБОДНЫЕ ЭЛЕКТРОНЫ

В металле, как и во всех твёрдых телах, каждый атом занимает определённое место. Правда, при некоторых условиях атомы твёрдых тел могут покидать свои места, но во всяком случае они долгое время остаются «привязанными» к определённому месту. В зависимости от температуры каждый атом более или менее сильно колеблется около этого места, не удаляясь от него сколько-нибудь далеко. В отличие от других твёрдых тел металлы обладают одной интересной особенностью: в пространстве

между атомами металлов движутся свободные электроны, то-есть электроны, не связанные с определёнными атомами.

Откуда берутся такие свободные электроны?

Дело в том, что в атомах не все электроны одинаково прочно удерживаются ядром. В электронных оболочках атомов металлов всегда есть один, два или три электрона, очень слабо связанных с ядром. Поэтому, например, при растворении различных солей входящие в их состав атомы металлов легко отдают эти электроны другим атомам, а сами превращаются в положительные ионы. Отрыв электронов от атомов происходит и в куске любого металла, но все электроны, потерявшие связь с атомами, остаются в самом металле между образовавшимися ионами.

Число свободных электронов в металле огромно. Их примерно столько же, сколько атомов. Тем не менее весь кусок металла остаётся, конечно, незаряженным, так как положительный заряд всех ионов в точности равен отрицательному заряду всех электронов.

Таким образом, строение металла мы можем себе представить в таком виде. Атомы металла, потерявшие по 1—2 электрона, стали ионами. Они сравнительно прочно сидят на своих местах и образуют, можно сказать, жёсткий «скелет» куска металла. Между ионами быстро движутся по всем направлениям электроны. Некоторые из электронов при движении тормозятся, другие ускоряются, так что среди них всегда есть и быстрые и медленные.

Движение свободных электронов вполне беспорядочно. Нельзя уловить в нём никаких струек или потоков, никакой согласованности. Свободные электроны движутся в металле приблизительно так, как мечутся мошки в тёплом воздухе летним вечером: в рое каждая из мошек летает сама по себе то быстрее, то медленнее, а весь рой стоит на месте.

Среди беспорядочно движущихся электронов всегда есть такие, которые летят по направлению к поверхности металла. Будут ли они вылетать из металла? Ведь если оставить открытым сосуд с газом, молекулы которого также находятся в беспорядочном движении, как и электроны в металле, то молекулы газа быстро рассеются

в воздухе. Однако электроны в обычных условиях не вылетают из металла. Что же их удерживает? Притяжение ионами. Когда электрон поднимается немного над поверхностью металла, над ним уже нет ионов, а внизу, на поверхности, есть. Эти ионы притягивают поднявшийся электрон, и он падает обратно на поверхность металла, как падает на землю брошенный вверх камень.

Если бы камень имел достаточно большую начальную скорость, он мог бы преодолеть притяжение Земли и

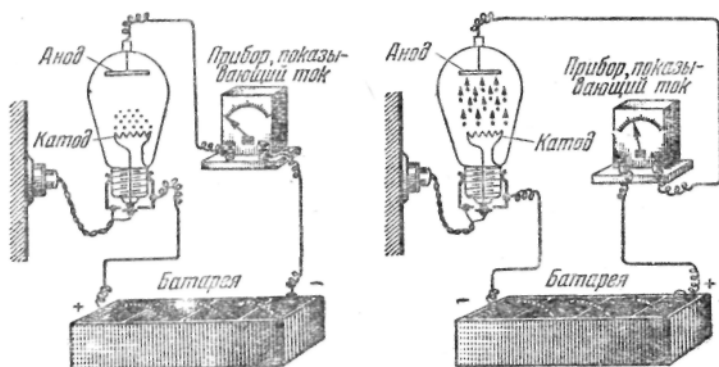


Рис. 7. Вырванные из раскалённого катода электроны устремляются к аноду только тогда, когда анод заряжен положительно.

улететь в межпланетное пространство, как улетает пушечное ядро в романе Жюль Верна. Очень быстрые электроны тоже могут преодолеть силы электрического притяжения и покинуть металл. Это и происходит при нагревании.

При нагревании металла усиливается движение не только атомов, но и электронов, и при высокой температуре из металла вылетает столько электронов, что их поток можно обнаружить. Посмотрите на рис. 7. На нём изображена необычная электрическая лампочка. В её баллоне на некотором расстоянии от нити накала укреплена металлическая пластинка. Пластинка называется анодом, а нить — катодом. К одному концу нити (всё равно к какому) и к аноду присоединена батарея, а между батареей и анодом в так называемую «анодную» цепь

включён прибор, показывающий наличие электрического тока. Прибор этот называется гальванометром. Сама нить лампы включена в электрическую сеть и раскалена. Если анод соединён с отрицательным полюсом батареи, а нить с положительным, то тока в анодной цепи не будет (рис. 7 слева). Теперь попробуем поменять полюсы и присоединим пластинку к «плюсу» батареи. В цепи сейчас же появится ток (рис. 7 справа). Этот опыт показывает, что раскалённая нить лампы действительно испускает отрицательные заряды — электроны, которые отталкиваются от анода, если он заряжен отрицательно (рис. 7 слева), и увлекаются электрическими силами к аноду, если он присоединён к положительному полюсу батареи (рис. 7 справа).

Испускание электронов накаливаемыми металлами имеет огромное практическое значение. Достаточно сказать, что оно используется во всех радиолампах (о радиолампах мы ещё будем говорить в последнем разделе книжки).

Увеличить энергию электронов и заставить их вылетать из металла можно не только нагреванием, но и освещением. Такие явления изучил в 1888 году русский физик, профессор Московского университета А. Г. Столетов. Поток световых лучей несёт энергию, и если свет падает на металл, то часть этой энергии поглощается металлом и передаётся электронам. Получив добавочную энергию, некоторые электроны преодолевают притяжение ионов и вылетают из металла. Это явление называется фотоэлектрическим эффектом. Фотоэффект используется в очень важном для техники приборе — фотоэлементе. Схема фотоэлемента показана на рисунке 8.

Стеклянный баллон, из которого удалён воздух, покрыт изнутри слоем металла, обычно натрия, калия или цезия, подвергнутого особой обработке (из этих металлов электроны легко вырываются при действии видимого света); не покрыто металлом только небольшое окошечко для пропускания света. Слой металла служит катодом фотоэлемента (фотокатодом). В середине баллона помещается или тонкая металлическая проволочка или сетка. Это — анод. Фотокатод соединяется с отрицательным полюсом батареи, а анод — с положительным. Как только на фотокатод упадут световые лучи, некоторые электроны приобретают большую энергию и вырываются с его по-

верхности. Сила электрического притяжения гонит их к аноду, и в цепи появляется ток. Если же освещение прекращается, ток исчезает*). Заметим, что обоими описанными способами удастся извлекать из металлов только очень небольшую часть имеющихся в них свободных электронов.

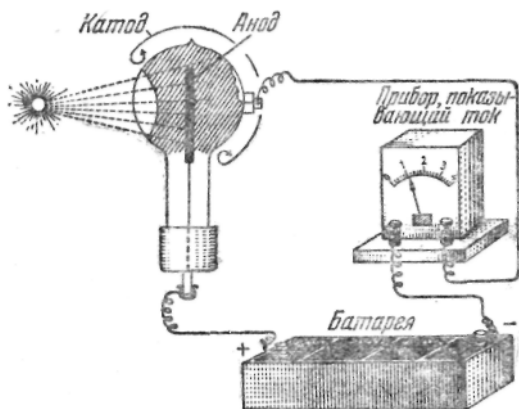


Рис. 8. Схема действия фотоэлемента.

Легко понять, что электризация трением представляет собой процесс вырывания электронов. Так, например, при трении стекла о кожу электроны, извлечённые из стекла, переходят на кожу.

Итак, мы знаем, что электроны можно извлечь из атомов. Посмотрим теперь, как можно управлять электронами, покинувшими атомы.

6. КАК УПРАВЛЯЮТ ЭЛЕКТРОНАМИ

Управлять движением — это значит уметь менять по своему желанию скорость и направление движения. Управлять электронами нам помогают магнитные и электрические поля.

*) Подробнее о фотоэлементах см. брошюру В. А. Мезенцева «Электрический глаз» в «Научно-популярной библиотеке» Гостехиздата.

Магнитное поле действует в пространстве вблизи магнита (или провода с током).

Полюсы магнитов (взаимодействуют друг с другом по такому же правилу, как и электрические заряды: между разноимёнными полюсами (север и юг) действуют силы притяжения, а между одноимёнными (север и север или юг и юг) — силы отталкивания*). Эти силы быстро убывают, если расстояние между полюсами увеличивается.

Для изучения магнитного поля можно применить маленькую магнитную стрелку.

На рисунке 9 в магнитном поле вблизи полюсов магнита нарисованы две стрелки. На каждую стрелку действуют одновременно две силы: сила притяжения и сила

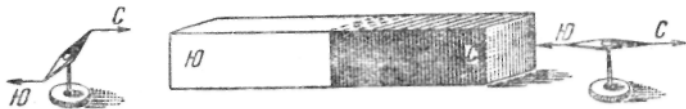


Рис. 9. Между разноимёнными полюсами магнитов действуют силы притяжения.

отталкивания. Южный полюс стрелки, стоящей справа, притягивается к северному полюсу магнита, а северный полюс стрелки от него отталкивается. Эта стрелка находится в равновесии: обе силы тянут стрелку в противоположные стороны и не поворачивают её вокруг оси.

Стрелка слева от магнита ещё не уравновешена. Магнитные силы должны повернуть её, и она установится, как и стрелка, стоящая справа, по направлению действующих на её полюсы магнитных сил.

Разместим теперь вокруг магнита несколько стрелок. Вид сверху на магнит, окружённый стрелками, показан на рис. 10. Сразу видно, что цепочки стрелок расположены не как попало, а по замкнутым линиям. Направление линий везде совпадает с направлением магнитных сил; поэтому эти линии называются магнитными силовыми линиями. Условились считать, что они направлены от северного полюса к южному.

Как вблизи магнита действуют магнитные силы, так и около заряженного тела действуют электрические силы,

*) Подробнее о магнитах см. брошюру В. Д. Охотникова «Магниты» в «Научно-популярной библиотеке» Гостехиздата.

то-есть существует электрическое поле. В электрическом поле тоже можно начертить силовые линии. Они указывают направление электрических сил.

На рисунке 11 изображены силовые линии самого простого электрического поля, поля между двумя параллельными друг другу и разноимённо заряженными плос-

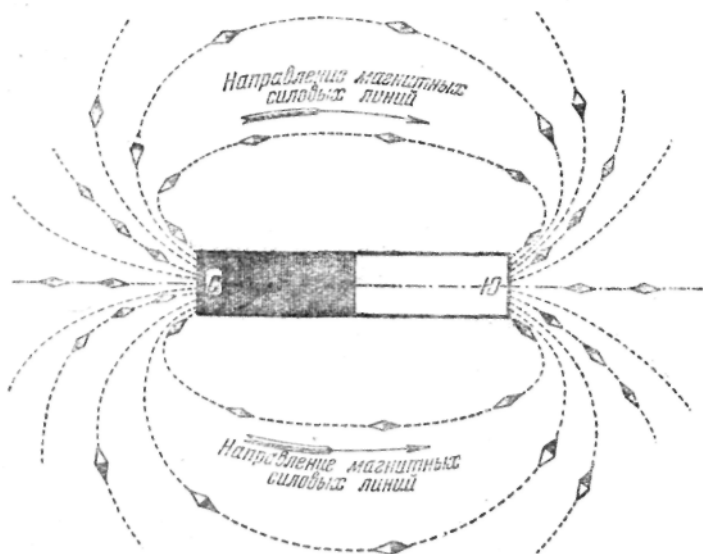


Рис. 10. Расположение магнитных стрелок в магнитном поле.

кими пластинками. Здесь все силовые линии — прямые, параллельные между собой (они изображены пунктиром). Электрические силовые линии считаются направленными от положительно заряженной пластинки к отрицательной. Если бы мы поместили в электрическом поле маленький положительный заряд, то он двигался бы именно в направлении электрических силовых линий к отрицательной пластинке; электроны же двигались бы в таком поле в обратном направлении.

Можно получить и магнитное поле с прямыми силовыми линиями (см, рис. 13) и электрическое поле, силовые линии которого искривлены (см. рис. 12).

Представление о силовых линиях очень полезно при изучении электрических и магнитных полей. Картина силовых линий даёт возможность судить о том, как направлены силы поля и как будет перемещаться в поле заряд или магнит.

Теперь посмотрим, как электрические и магнитные поля действуют на электроны.

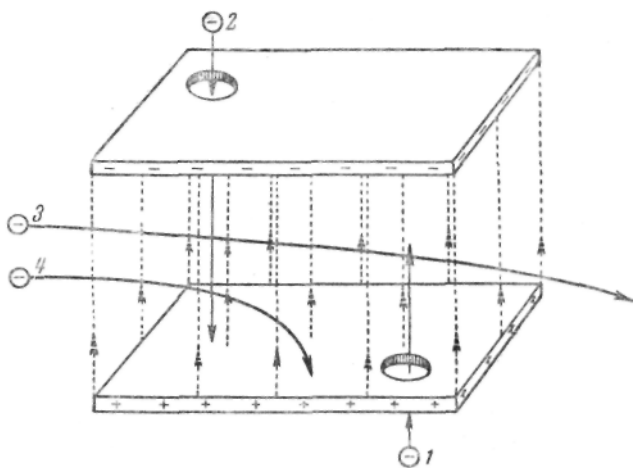


Рис. 11. Действие электрического поля на электроны.

На рисунке 11 нарисованы пути нескольких электронов в электрическом поле. Электроны отмечены цифрами: 1, 2, 3 и 4.

Проще всего дело обстоит с электронами 1 и 2. Они влетают с большой скоростью в электрическое поле через отверстия в заряженных пластинках и с самого начала двигаются вдоль силовых линий. Поэтому обоим электронам нет причины сворачивать с прямого пути. Электрон 2 притягивается к положительно заряженной пластинке; движение его ускоряется, как движение камня, брошенного отвесно вниз. А движение электрона 1 замедляется силой притяжения к нижней пластинке так же, как замедляется движение камня, брошенного вертикально вверх.

С третьим и четвёртым электронами дело обстоит сложнее. В этом случае электрические силы изменяют

направление движения электрона. Электрон 3 пролетает через электрическое поле с большой скоростью, и поле не успевает заставить электрон двигаться вдоль силовых линий; оно только слегка отклоняет электрон. Электрон 4 летит медленно, и поле отклоняет его так сильно, что в конце пути электрон движется почти по направлению силовых линий и, наконец, попадает на положительную пластинку.

По таким путям пролетит не только электрон, но и любая другая заряженная частица, например, положи-

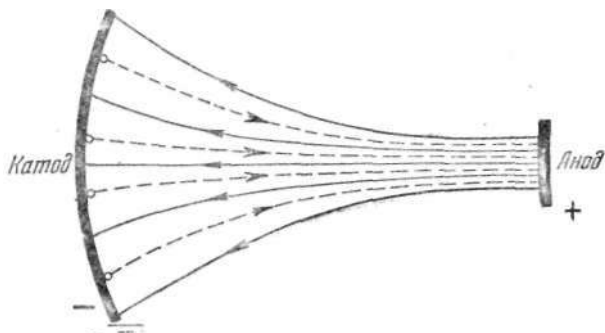


Рис.12. Электроны на пути от катода к аноду собираются в узкий пучок.

тельный ион; только он отклонится от прямой линии в сторону отрицательной пластинки.

Можно получить электрическое поле иного строения, если, например, одну из пластинок заменить вогнутой металлической поверхностью (рис. 12). В этом случае силовые линии (они показаны на рисунке сплошными линиями) будут расходиться веером от положительно заряженной пластинки — анода — к отрицательно заряженному вогнутому катоду. В таком электрическом поле электроны (они обозначены белыми кружочками) собирались бы на пути от катода к аноду в узкий пучок.

Итак, одним только электрическим полем можно ускорять или замедлять движение электронов, поворачивать их назад, отклонять в любом направлении и собирать в узкие пучки. Иногда для управления электронами достаточно только электрических полей, но в некоторых случаях используются и магнитные поля.

А как действует на электроны магнитное поле? Опыты показали, что на электроны, летящие вдоль магнитных силовых линий, магнитное поле не действует вовсе. Но электроны, влетающие в магнитное поле перпендикулярно к силовым линиям (пересекая их), начинают двигаться по окружности.

Как направлена сила, заставляющая электрон описывать круг?

Представим себе мячик, привязанный к резинке и движущийся по кругу. На мячик действует сила, кото-

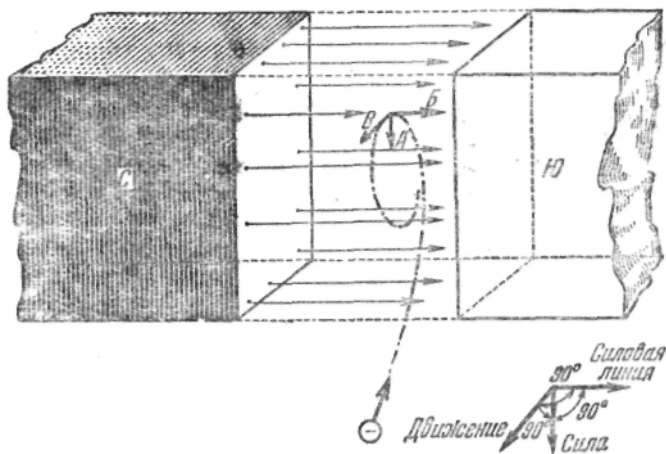


Рис. 13. Действие магнитного поля на электрон.

рую развивает растянутая резинка. Сила направлена от мячика вдоль резинки в центр круга. Сила, направленная в центр, действует на любое тело, описывающее круг; действует она и на электроны, летящие по кругу. На рисунке 13 эта сила изображена стрелкой *A*. Опытным путём установлено, что эта сила всегда направлена под прямым углом как к силовым линиям (стрелка *B*), так и к направлению движения электрона (стрелка *B*). Три направления — направление силы, действующей на электрон, направление движения электрона и направление магнитных силовых линий — всегда взаимно перпендикулярны, как три ребра куба, сходящихся в одной вершине. Это хорошо видно на рисунке 13 (внизу).

Из приведённых примеров ясно, какие разнообразные движения могут совершать электроны в электрических и магнитных полях. Но эти примеры — самые простые. Используя электрические и магнитные поля различного строения, заставляя их действовать на электроны не один, а несколько раз, можно ускорять и замедлять поток электронов, направлять его по желательному для нас пути и привести его, в конце концов, в намеченное место.

В дальнейшем мы увидим, какую пользу приносит умение управлять электронами.

7. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Мы уже знаем, что в металлах есть свободные электроны и что они движутся совершенно беспорядочно. Однако это движение можно отчасти упорядочить: с помощью электрического поля можно заставить свободные электроны течь по металлу общим потоком в нужном направлении, то-есть получить электрический ток.

Есть простой опыт, доказывающий, что ток в металлах — это действительно поток электронов, а не положительных зарядов. Этот опыт впервые поставили советские учёные Л. И. Мандельштам и Н. Д. Папалекси.

Чтобы лучше разобраться в этом интересном опыте, рассмотрим сначала такой пример. Возьмём стакан с водой, подвесим его на нити и, закрутив нить, заставим стакан вращаться. Постепенно вода начинает вращаться вместе со стаканом. Если теперь внезапно остановить стакан, то вода ещё некоторое время будет двигаться по инерции.

Простая идея этого опыта была использована Л. И. Мандельштамом и Н. Д. Папалекси. Мы опишем этот опыт очень упрощённо. Представим себе металлическое кольцо, вблизи которого подвешена лёгкая магнитная стрелка (рис. 14). Известно, что электрический ток создаёт вокруг себя магнитное поле. Физики давно уже изучили действие этого поля на магнитную стрелку. Если бы по направлению, отмеченному на рисунке 14 стрелочками, по кольцу текли отрицательные заряды, то магнитная стрелка повернулась бы к кольцу южным

полюсом, а если положительные — то северным. Таким образом магнитная стрелка может указать, какие заряды и в каком направлении движутся по кольцу.

Приведём кольцо в быстрое вращение в том направлении, которое указано стрелками. Вместе с кольцом вращаются и положительные и отрицательные заряды, заключённые в металле, то-есть и свободные электроны и

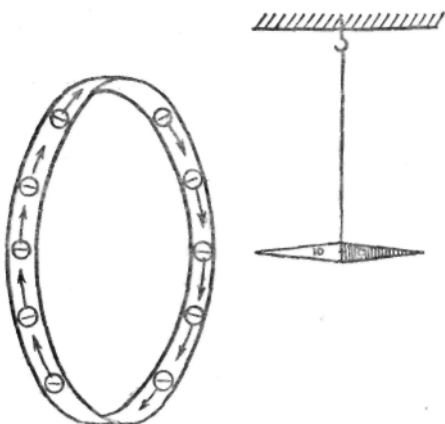


Рис. 14. Схема опыта Л. И. Мандельштама и Н. Д. Папалекси.

«ионный скелет» металла. При этом действие зарядов на стрелку взаимно погасится. Стрелка останется неподвижной.

Теперь резко остановим кольцо. При этом остановится «ионный скелет» металла, а свободные электроны будут некоторое время двигаться по инерции в прежнем направлении, так же, как вода в опыте с вращающимся стаканом. Это значит, что появится электрический ток. Стрелка

должна повернуться к кольцу южным полюсом (рис. 14).

Опыт Мандельштама и Папалекси подтвердил это предположение. Таким образом было окончательно доказано, что свободу движения в металле имеют отрицательные заряды и ток в металле — это поток электронов.

Между электрическим током в проводе и потоком воды в трубе есть большое сходство, которым можно воспользоваться, чтобы лучше понять, как ток течет по проводу. Представим себе течение воды не в пустой трубе, а в трубе, плотно заполненной камнями. Камни положены так тесно один к другому, что составляют как бы одно целое со стенками трубы, образуя настоящий «каменный скелет» в трубе. Промежутки между камнями заполнены водой (рис. 15).

Пока кран закрыт, напора воды нет и вода не течёт. Быстрым поворотом крана создадим напор. Он распро-

странится по трубе, конечно, не мгновенно, но всё же с большой скоростью — около одного километра в секунду. Значит, если труба не очень длинна, то почти сразу вода потечёт по всей трубе.

Отдельные молекулы воды всегда находятся в непрерывном и беспорядочном движении. В потоке воды беспорядочное движение, при котором каждая молекула движется сама по себе, вовсе не прекратится. Но это совершенно не мешает воде всей массой, общим потоком, течь по трубе. Сравнение молекул с роем мошек пригодно и здесь. Если рой мошек уносится потянувшим

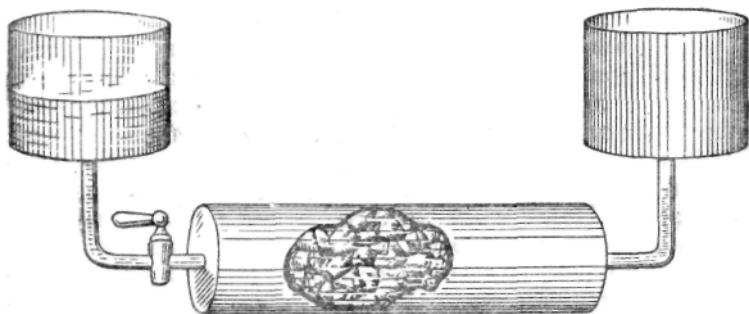


Рис. 15. Поток электронов в проводе подобен течению воды в заполненной камнями трубе.

ветерком, беспорядочное движение отдельных мошек не прекращается, а весь рой целиком летит по ветру.

Вода течёт между камнями, преодолевая трение. А там, где есть трение, выделяется тепло. Нагревание делается вполне заметным, если по трубе пройдёт много воды под большим напором.

Поток электронов в проводнике очень похож на поток воды в трубе. Представим себе вместо молекул воды свободные электроны, а вместо «каменного скелета» в трубе «скелет» из ионов металла. Электроны, как и молекулы воды, текут по проводу общим потоком, не прекращая при этом своего беспорядочного движения.

Движение электронного потока не проходит бесследно для провода. Между ионами и электронами тоже создаётся своего рода «трение», которое носит название электрического сопротивления. Следствием

«трения» между электронным потоком и ионами является непрерывное выделение тепла в проводнике. Нагревание проводников током применяется буквально на каждом шагу: в самых отдалённых уголках нашей страны светит «лампочка Ильича»; миллионы людей пользуются электроплитками, чайниками и утюгами; нет ни одного завода или лаборатории, где бы не было самых различных электропечей.

Вода по трубе течёт под напором. Это значит, что во всём объёме воды по всей трубе действует сила, подгоняющая молекулы воды. Но как создать силу, движущую свободные электроны по проводу? Как осуществить «электрический напор»?

Вообразим, что мы сумели создать на концах куска провода два слоя зарядов разных знаков. Например, «сняли» с левого конца провода некоторое количество свободных электронов и «перенесли» их на правый конец. Тогда между слоями зарядов разных знаков внутри провода получится электрическое поле такое же, как на рисунке И. На каждый электрон будет действовать сила, толкающая его к положительному слою. Все электроны двинутся справа налево, то-есть в проводе потечёт электрический ток. Можно сказать, что мы получили в проводе электрический напор. Электротехники и физики называют его **напряжением**.

Но что же будет дальше? Электроны войдут в положительный слой и нейтрализуют его заряд. Напряжение исчезнет, и ток прекратится. Следовательно, для получения постоянного, не прерывающегося тока в проводе нужно всё время поддерживать существование электрического поля, придумать что-то вроде непрерывно действующего «электронного насоса», перекачивающего электроны с одного конца провода на другой.

В действительности роль «электронного насоса» исполняют гальванические элементы, аккумуляторы и динамомашинны.

Особенно большое значение в технике имеют динамомашинны. Действие всех динамомашин основано на одном замечательном явлении: когда металлический провод движется поперёк магнитных силовых линий, в нём возникает ток. Как это происходит? Чтобы ответить на это, рассмотрим упрощённую модель динамомашинны.

На рисунке 16 между полюсами магнита по двум металлическим лентам движется отрезок провода (он обозначен буквами *АБ*). Сам он двигаться, конечно, не будет, его нужно двигать рукой; но и якорь, вращающаяся часть настоящей динамомашины, движется не сам — его вращает турбина или какой-нибудь другой двигатель.

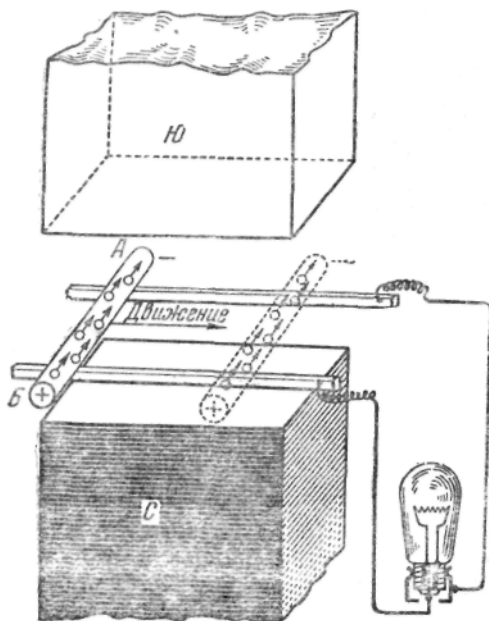


Рис. 16. В движущемся между полюсами магнитов проводе возникает ток.

К лентам присоединена лампочка, так что электрическая цепь всё время замкнута. В отрезке провода, как и во всяком куске металла, находятся электроны, которые движутся вместе с проводом под прямым углом к силовым магнитным линиям (направление движения отмечено стрелкой).

Как мы уже знаем, направление движения электронов, направление силовых линий и направление силы, действующей на электроны, всегда взаимно перпендикулярны. Значит, на электроны будут действовать силы,

отмеченные на рисунке маленькими стрелками. Они гонят электроны вдоль провода от *Б* к *А*. Электронам, накапливающимся в *А*, открыт путь через лампочку. По этому пути они и устремятся. Когда отрезок провода дойдёт до края магнитного поля (на рисунке это положение провода отмечено пунктиром), ток прекратится. Чтобы этого не случилось, нужно сразу же двинуть отрезок провода обратно. При этом ток, конечно, изменит направление, но лампочка гореть не перестанет, потому что тепло в проводнике выделяется независимо от направления тока. Если двигать отрезок провода *АБ* вперёд и назад между двумя крайними положениями, то через лампочку будет течь ток, меняющий своё направление. На языке электротехники ток, меняющий своё направление, носит название «переменного тока».

В настоящих динамомашинах провода вращаются в магнитном поле. При этом также получается переменный ток. Если нужно получить ток постоянного направления, переменный ток с помощью особых устройств «выпрямляют».

Таким образом, в динамомашине «электронным насосом» служит магнитное поле. Оно всё время пергоняет электроны от *Б* к *А*, и на концах отрезка, которые называются полюсами, всё время накапливаются заряды разных знаков. Значит, в проводах «внешней цепи» всё время будет действовать электрическое поле, будет существовать «электрический напор».

Теперь посмотрим на рисунок 17. Он очень похож на рисунок 16. Разница только в том, что в цепь вместо лампочки включена батарея. Она гонит электроны по куску провода, лежащему на пластинах, в направлении, отмеченном на рисунке маленькими стрелками. Это направление перпендикулярно к магнитным силовым линиям. Значит, на каждый электрон будет действовать сила, направленная под прямым углом как к силовым линиям, так и к направлению движения электронов. Эти силы также показаны на рисунке стрелками. Электроны не могут вырваться из проводника. Этому, как мы знаем, препятствуют силы притяжения ионов металла. Но маленькие силы, действующие на каждый электрон, в сумме дадут вполне заметную силу, которая увлечёт с собой весь провод и будет перемещать его по пластинкам.

Движение провода, по которому идёт ток, в магнитном поле используется в электромоторах.

Остаётся ещё один вопрос: через сколько времени после того, как динамомашинка пущена в ход (то-есть двинулся с места провод *АВ* на рисунке 16), загорится в цепи лампочка?

Заряды на полюсах динамомашинок создают в присоединённом к ним проводнике электрическое поле. Проводник может быть очень длинным и разветвлённым; такова, например, городская электросеть. Но электрическое поле распространяется с огромной скоростью. Эта скорость равна 300 000 километров в секунду. Поэтому во всей сети — будь она длинной хоть в сотни километров — электрическое поле появится мгновенно: сразу во всех проводах, во всех лампочках и моторах свободные электроны начнут двигаться туда, куда гонит поле; сразу загорятся лампочки, заработают моторы и т. д.

Не надо думать, что поток электронов в проводе течёт с той же огромной скоростью, с какой распространяется вдоль провода электрическое поле. Скорость потока электронов (не путать со скоростью беспорядочного движения отдельных электронов!), вообще говоря, зависит от напряжения — «электрического напора» (так же,

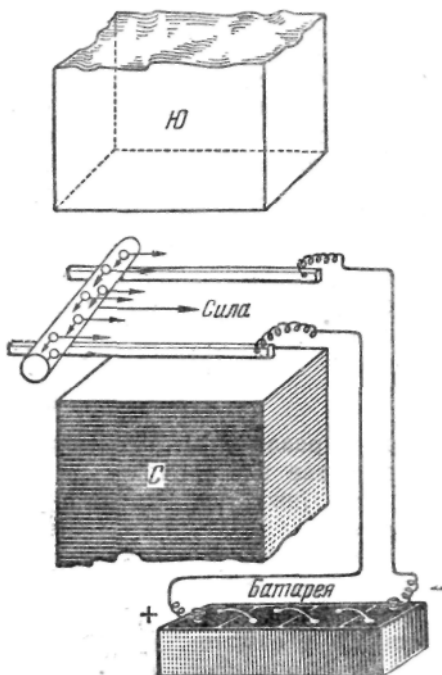


Рис. 17. Провод, по которому текут электроны, перемещается в магнитном поле.

как скорость воды в трубе зависит от напора воды). Эта скорость невелика. Например, в светящейся нити электрической лампочки путь, проходимый электронным потоком за одну секунду, измеряется миллиметрами.

Итак, практическое использование электричества основано, прежде всего, на том, что в металлах есть свободные электроны, которыми мы можем легко управлять с помощью электрического поля.

Электронный поток в проводе можно в некотором отношении сравнить с поездом, движение которого направляется рельсами. Машинист не нуждается в руле; его единственная забота — ускорять или тормозить поезд. Провод для электронного потока то же, что и рельсовый путь для поезда. Электроны в обычных условиях не могут выйти из проводника. Нужно только создать необходимое напряжение на концах, и по проводнику любой формы потечёт ток.

8. ЭЛЕКТРОНЫ И СВЕТ

В этом разделе мы остановимся на одном интересном свойстве электронов — на их способности излучать свет. Это, пожалуй, самая важная для нас особенность электронов.

В настоящее время наука твёрдо установила, что свет представляет собой электромагнитные волны, т. е. связанные между собой определённым образом быстро меняющиеся электрические и магнитные поля; быстро меняющиеся поля распространяются в пространстве в виде волн.

С волновым движением в природе приходится встречаться очень часто. Мы знаем волны на поверхности жидкостей, звуковые волны, радиоволны. Попытаемся выяснить вопрос о том, как зависят свойства волн от особенностей их источника.

Проще всего наблюдать волновое движение на поверхности воды.

Коснёмся спокойной поверхности воды концом палки и будем поднимать и опускать палку. От места, где палка прикасается к воде, пойдут расходящиеся круги—волны: конец палки является источником волн. Для того чтобы лучше следить за движением волн, бросим на воду в раз-

ных местах несколько соломинок или лёгких щепок. Если ускорить движение палки, увеличить частоту её колебаний, то расстояния между гребнями двух соседних волн делаются меньше. Значит, чем быстрее колебания источника волн, тем короче длина волны.

Теперь обратимся к звуковым волнам. Звук представляет собой распространяющиеся в виде волн сжатия и разрежения в окружающем нас воздухе. Звуковые волны улавливаются ухом. Источником звуковых волн может быть всякое колеблющееся тело, например, натянутая струна. Опыт показывает, что чем чаще колеблется тело, тем выше звук. Большой тяжёлый колокол не может быстро колебаться, и поэтому звук его низкий, а маленький лёгкий колокольчик колеблется быстро и издаёт высокий звук. Сильно натянутая струна звучит высоко, а если её ослабить, то звук будет более низкий.

Итак, короткие волны получают от источников, совершающих быстрые колебания, а быстрые колебания могут совершать только лёгкие и притом сильно закреплённые, сильно связанные в своём движении тела.

Теперь вновь вернёмся к свету. Электромагнитные световые волны распространяются с огромной скоростью в 300 000 километров в секунду (это та же скорость, с которой распространяется электрическое поле вдоль провода). Они могут распространяться не только в воздухе, воде и в других средах, но и в пустоте.

Наш глаз воспринимает как видимый свет только волны с длиной волны примерно от 4 десятитысячных до 8 десятитысячных миллиметра. Более короткие волны (ультрафиолетовые, рентгеновские лучи) и более длинные (инфракрасные, радиоволны) глазом не воспринимаются. Поскольку мы знаем, что электрические и магнитные поля создаются движущимися зарядами, естественно предположить, что источниками света являются колеблющиеся заряды атомов. И это действительно так: свет излучают электроны.

Электроны в атомах расположены не на одинаковых расстояниях от ядра. Глубоко в недрах атомов находятся внутренние электроны; они очень сильно связаны с ядром. Поэтому внутренние электроны излучают более короткие волны (рентгеновские лучи). Источниками же видимого света являются внешние электроны.

Для того чтобы заставить электроны в атоме колебаться, нужно ударить по атому, как ударяют молоточком по колокольчику или струне, когда хотят вызвать звук. Разумеется, что для удара по атому нужен подходящий по размерам «молоток». Проще всего нагреть тело; в этом случае молоточками окажутся сами атомы. Атомы при нагревании движутся быстрее, сильнее сталкиваются друг с другом, и от этих столкновений внешние электроны начинают колебаться и излучать свет. Именно так светится раскалённый кусок железа, нить лампочки, нагретая током, раскалённые частицы в пламени, раскалённые газы на поверхности Солнца.

Но можно вызвать свечение и без нагревания. О том, как это осуществляется, будет рассказано в следующем разделе.

9. ТОК В ГАЗАХ

Мы уже говорили, что при нагревании и облучении светом из металла могут вырываться электроны. Освободившиеся из катода электроны (см. рис. 7 и 8) быстро пробегают через разрежённый газ к аноду, образуя электрический ток.

В металлических проводниках поток электронов движется сравнительно медленно; в разрежённом газе электроны летят к аноду очень быстро, но зато их бывает гораздо меньше — ведь наружу из металла вылетает только очень малая часть всех свободных электронов.

Находящийся в трубке газ играет большую роль в образовании электрического тока. Дело в том, что в газе всегда имеется некоторое количество ионов, которые так же, как и электроны, будут двигаться к электродам. Однако газ при нормальной температуре и обычном атмосферном давлении является плохим проводником электричества. Поэтому, например, всякое наэлектризованное тело в воздухе долго сохраняет свой заряд. В то же время воздух или любой другой газ может стать хорошим проводником тока, если разрядная трубка достаточно сильно откачана, до давлений порядка сотых, тысяч и миллионных долей атмосферы, т. е. если газ в трубке очень сильно разрежён. Кроме того, необходимо приложить к электродам сильное напряжение. В чём тут дело? Как объяснить это явление?

Пусть стеклянная трубка (рис. 18) заполнена достаточно разрежённым воздухом. В изображённой на рисунке трубке катод имеет форму чашечки (для того чтобы собирать вылетающие электроны в пучок; см. рис. 12), а анод — форму серпа и молота. Заметим, что форма электродов, вообще говоря, не имеет большого значения.

Электроды присоединены к источнику высокого напряжения, и между ними создаётся сильное электрическое поле. При этих условиях, несмотря на то, что катод

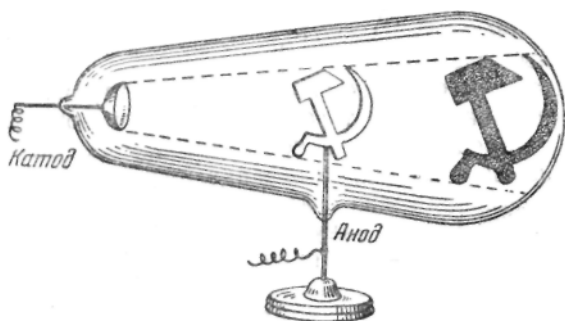


Рис. 18. Катодная трубка.

остаётся холодным, через трубку идёт заметный электрический ток, а если разрежение газа не слишком высоко, то газ светится.

Как мы уже говорили, газ, заполняющий трубку, всегда содержит некоторое, вначале очень небольшое, число ионов. Положительные ионы под действием электрического поля устремляются к катоду. Не встречая препятствий на своём пути (воздух почти весь выкачан), тяжёлые по сравнению с электронами ионы приобретают огромную скорость и ударяются о катод. При этом за счёт своей энергии каждый ион выбивает из катода один или даже несколько электронов. Электроны на пути от катода к аноду также ускоряются электрическим полем. Сталкиваясь с молекулами воздуха, электрон может ионизовать молекулу, выбить из неё один из внешних электронов. После этого движение обоих электронов вновь ускоряется, они вновь сталкиваются с молекулами, вновь ионизуют их. Образовавшиеся ионы движутся в проти-

воположном направлении. Образуется так называемая «ионная лавина». В результате в трубке течёт электрический ток, который представляет, таким образом, два встречных, быстро текущих потока электронов и ионов.

Легко понять, почему газ, находящийся при нормальном давлении, является плохим проводником. В этом случае столкновение электронов с молекулами происходит слишком часто, так что электрон не успевает приобрести энергию, потребную для ионизации молекул газа. Ионизации молекул не происходит, ионная лавина не образуется. Ясно поэтому, что для получения значительного электрического тока через трубку надо брать сильно разрежённый газ.

В некоторых случаях сила удара электрона об атом будет достаточна для того, чтобы атом потерял свой электрон и превратился в ион. Но иногда удар более слаб и вызывает только колебание электрона. Электрон при этом не теряет связи с ядром, но, как было выяснено в предыдущей главе, излучает свет. Можно подобрать количество газа в трубке и силу электрического поля в ней так, что столкновений, возбуждающих излучение света, будет очень много и столб газа в трубке будет ярко светиться, хотя трубка останется холодной. Такой «холодный» свет дают газосветные трубки (см. рисунок на обложке); они теперь часто применяются для светящихся надписей на вывесках магазинов, кино, а в последнее время и для освещения.

Если же газ в трубке выкачан почти полностью и скорость электронов достаточно велика, то часть электронов, пролетающая мимо анода и падающая на заднюю стенку трубки, вызывает яркозелёное свечение стекла. На зелёном фоне стенки образуется тогда тень от анода, точно такая же, какую мог отбросить анод, если бы на него падал пучок лучей света. Когда учёные впервые наблюдали это интересное явление, они ещё не знали, что имеют дело с электронами, и решили, что из катода выходят какие-то неизвестные ещё лучи, «катодные лучи».

Академик А. Ф. Иоффе доказал, что катодные лучи действуют на магнитную стрелку так же, как и обыкновенный ток в проводе. Теперь нам это вполне понятно, так как мы знаем, что катодные лучи — это не что иное,

как поток электронов в пустоте. Катодные лучи теперь обыкновенно называют электронными лучами. Это очень удачное название. Электронные лучи действительно имеют немалое сходство с лучами света: они распространяются прямолинейно и вызывают почернение фотопластины так же, как и световые лучи. Более того, сейчас есть аппараты, где электронные лучи используются, так сказать, в роли световых лучей. Это электронные микроскопы *).

Не только стекло, но и многие другие вещества светятся под ударами электронов. Вещества, дающие особенно яркое свечение, называются светящимися составами или фосфорами. Если на пути электронных лучей поместить экран, покрытый светящимся составом, то можно видеть следы от ударов электронов.

С помощью электронных лучей учёные лучше узнали свойства электрона. До открытия электронных лучей было известно, что электрон очень мал и лёгок и имеет очень маленький отрицательный заряд. Электронные лучи дали возможность «взвесить» электрон, то-есть измерить его массу. Оказалось, что электроны, независимо от того, каким образом они вырваны из катода (нагреванием, освещением и т. д.), всегда имеют одинаковую массу. Масса электрона в 1840 раз меньше массы легчайшего из атомов — атома водорода. Все электроны оказались в точности похожими один на другой: в природе существует только один «сорт» электронов.

После того как была измерена масса электрона, отпали последние сомнения в том, что здесь мы имеем дело с частицей вещества. Поэтому 1897 год, год, когда впервые была измерена масса электрона, принято считать датой открытия электрона.

Скажем несколько слов о размерах электрона. Мы уже знаем, что электроны много меньше атомов. Поперечник атома имеет размер в несколько десятимиллионных долей миллиметра — размер, который трудно себе представить.

Вообразим себе, что размер атома увеличился в десять миллиардов раз. Тогда его поперечник будет

*) Об электронном микроскопе см. книжку «Научно-популярной библиотеки» Гостехиздата: Ю. М. Кушнир «Окно в невидимое».

равен 2—3 метрам. Но даже и в этой увеличенной модели атома электрон представился бы нам частицей с поперечником в одну сотую миллиметра, то-есть едва ли был бы виден невооружённым глазом.

10. ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ

Мы уже познакомились со свойствами электронов и знаем, как можно управлять этими «атомами электричества». Теперь расскажем об электронных приборах.

Рентгеновская трубка

В разделе об электронных лучах мы говорили, что очень быстрые электроны способны вызвать свечение в катодной трубке (рис. 19). В 1895 году было обнаружено,

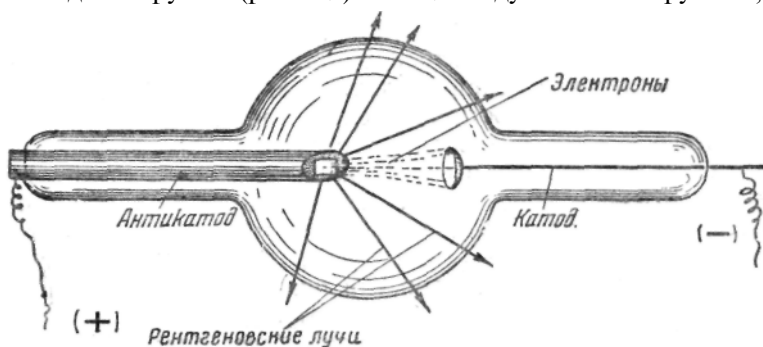


Рис. 19. Рентгеновская трубка.

что стекло, на которое падает электронный пучок, излучает не только видимый свет, но и очень короткие электромагнитные волны — рентгеновские лучи. Длина волн этих лучей в сотни раз меньше, чем у самых коротких видимых лучей. Источником их также являются колебания электронов в атомах, но колебания уже не внешних электронов, как в видимом свете, а электронов, лежащих близко к ядрам атомов.

Особенно сильное рентгеновское излучение получается в том случае, когда электронные лучи падают не на стекло, а на пластинку из вольфрама, платины или из какого-нибудь другого тяжёлого металла. Заряды

ядер этих металлов очень велики, и электроны, лежащие во внутренних слоях атомов, притягиваются к ядрам с громадной силой. Для того чтобы катодные лучи могли проникнуть в глубокие слои электронной оболочки, бомбардирующие электроны должны разогнаться в очень сильном электрическом поле. Это и достигается в рентгеновских трубках (рис. 19). Катод и металлическая пластинка — антикатод (что значит — лежащий против катода) рентгеновской трубки соединены с источником тока высокого напряжения. Выйдя из катода, электроны приобретают в сильном электрическом поле огромные скорости, мчатся к пластинке и проникают глубоко в атомы металла. Внутренние электроны атомов начинают колебаться от этих электронных ударов. Колеблются они гораздо быстрее, чем внешние электроны, подобно тому как сильно натянутая струна колеблется быстрее, чем ослабленная. Значит, и электромагнитные волны, излучаемые этими электронами, будут короче световых.

Электроны, ударяющие в антикатод, тоже испускают рентгеновские лучи. Эти «первичные» электроны при ударе резко тормозятся и излучают при этом электромагнитные волны, составляющие вместе с волнами от внутренних электронов рентгеновское излучение.

Рентгеновские лучи очень легко проходят через многие вещества, совершенно не прозрачные для видимого света: через картон, дерево, кожу, через ткани животных. На этом основано их широкое применение в технике и медицине. Просвечивая тело рентгеновскими лучами, врачи легко находят переломы костей, язвы, опухоли, туберкулёзные изменения в лёгких. Инженеры с помощью рентгеновских лучей обнаруживают трещины и раковины в металлических изделиях.

Радиолампы

Радиолампа, или электронная лампа, является самым известным из электронных приборов. В настоящее время «на действительной службе» в радиоприёмниках находятся миллионы радиоламп.

Одна из самых простых ламп имеет три электрода: накали́нный катод, испускающий электроны, а н о д, который их улавливает, и сетку, которая находится

между катодом и анодом и управляет электронами (рис. 20).

Если сетка заряжена отрицательно, то она отталкивает электроны и не пропускает их к аноду даже в том случае, если анод заряжен положительно. Тогда лампа, как говорят, «заперта» и вокруг катода образуется облако электронов (рис. 20 слева).

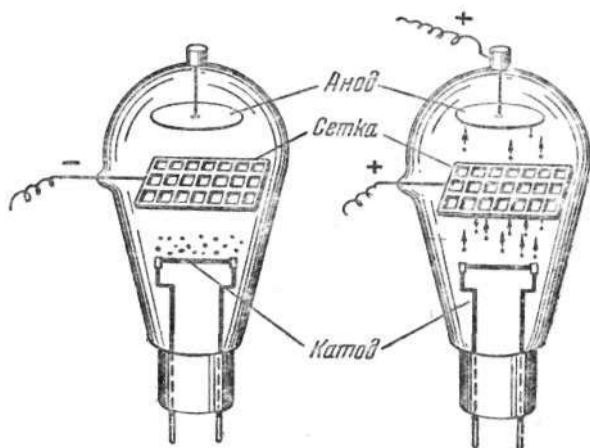


Рис 20. Заряд на сетке управляет потоком электронов в радиолампе.

Начнём постепенно уменьшать отрицательный заряд сетки. Через некоторое время наступит момент, когда противодействие сетки уменьшится настолько, что положительно заряженный анод сможет извлечь некоторые электроны из облака. Эти электроны пролетают через отверстия в сетке и достигают анода. В результате появляется анодный ток. На сетку электроны попадать не будут потому, что она заряжена отрицательно.

Если, наконец, зарядить сетку положительно, то путь к аноду для электронов станет совершенно свободным и сетка будет теперь даже помогать аноду извлекать электроны из облака и тем самым увеличивать анодный ток (рис. 20 справа). Таким образом, с помощью заряда на сетке можно управлять анодным током. Правда, некоторые электроны будут оседать на сетке и уменьшать её заряд. Но таких электронов будет немного, так как

сетку делают не густую и большая часть электронов проскакивает к аноду через отверстия в сетке. А раз на сетку попадает мало электронов, то в цепи сетки течёт ничтожный ток, и значит, энергия, которая затрачивается на создание заряда на сетке и управление электронным потоком в лампе, также очень мала.

Мы не будем здесь останавливаться на том, как осуществляется радиопередача. Постараемся только выяснить, какую роль в радиотехнике играют электронные лампы.

Радиоволны, излучаемые антенной радиостанции, быстро ослабевают по мере удаления от неё. До приёмника, находящегося часто за тысячи километров от станции, доходит такая незначительная часть энергии, что за счёт её нельзя было бы заставить звучать не только громкоговоритель, но и простой телефон (наушники). И вот здесь-то на помощь приходят радиолампы. Энергия радиоволн, уловленных приёмником, расходуется только на сетке лампы на управление электронами. На это, как мы знаем, требуется очень мало энергии. А на работу громкоговорителя расходуется энергия тех электронов, которые идут к аноду. Эта энергия во много раз больше. В итоге энергия, принесённая приёмнику радиоволнами, оказывается усиленной во много раз (с помощью нескольких ламп — в сотни тысяч раз!).

Только применение радиолампы — усилителя радиоволн сделало возможным приём отдалённых радиостанций. Без радиолампы-усилителя можно принимать только близкие и притом мощные станции.

В современных радиоприёмниках лампы применяются не только для усиления: например, с помощью двух-электродных радиоламп, так называемых кенотронов, в радиоприёмниках с питанием от сети «выпрямляют» ток, то-есть превращают его из переменного в постоянный.

Главная часть радиопередатчика — это также мощная электронная лампа, с помощью которой возбуждаются электромагнитные колебания в антенне. Сильно упрощая, можно сказать, что электронная лампа возбуждает антенну передатчика и антенна излучает радиоволны. Значит, и радиоволнами, идущими от передатчика, тоже можно управлять, действуя на электроны в лампе

передатчика. Мы уже знаем, что это делается с помощью сетки и для этого нужна небольшая затрата энергии. Поэтому для управления радиоволнами, бегущими от передатчика, достаточно даже той относительно ничтожной энергии, которую имеет передаваемый звук (голос диктора, музыка и т. п.). Разумеется, для того чтобы звук мог управлять электрическими зарядами на сетке лампы, нужно предварительно преобразовать звуковую энергию в энергию электрического тока *).

Итак, радиолампы и усиливают пришедшие к приёмнику радиоволны, и выпрямляют ток, и управляют излучением радиоволн.

Электронная лампа была изобретена для службы в радиосвязи и осталась в радиотехнике незаменимой. Но в наши дни электронные лампы применяются не только в радиотехнике.

Мощные источники электромагнитных волн — ламповые генераторы — применяются на заводах для поверхностной закалки деталей, для плавки металлов и для сушки дерева, керамических изделий и т. п. В медицине они служат для прогревания тела больного (диатермия). Электронные лампы применяются в разнообразных приборах для научных исследований, в устройствах автоматического регулирования и контроля. Советский учёный профессор Г. И. Бабат успешно работает над проблемой передачи электроэнергии без проводов с помощью радиоволн, получаемых от лампового генератора.

Электронно-лучевые трубки

В заключение остановимся на электронных приборах, где искусство управления электронами достигло своего высшего уровня — на электронно-лучевых трубках.

На рисунке 21 изображена в несколько упрощённом виде электронно-лучевая трубка. Слева расположен источник электронов — «электронная пушка». Она состоит из небольшого катода, скрытого внутри металлического цилиндра с отверстием, и короткой металличе-

*) Об этом подробно рассказывается в брошюрах «Научно-популярной библиотеки» Гостехиздата: А. С. Фёдоров и Г. Б. Григорьев «Как кино служит человеку» и В. А. Мезенцев «Электрический глаз».

ской трубки — анода. Анод, как всегда, заряжен положительно. В отличие от анода радиолампы этот анод не улавливает электронов, а только ускоряет их. Через отверстие анода электроны выходят очень тонким пучком в виде электронного луча.

Электронный луч падает на дно трубки — экран, покрытый светящимся составом. На экране, в том месте, куда попадает электронный луч, получается светлое пятнышко. Посмотрите ещё раз на рисунок 21. Путь электронного луча проходит между двумя парами металлических пластин. Если пластины заряжены, то на пути луча возникает электрическое поле, и значит, луч должен

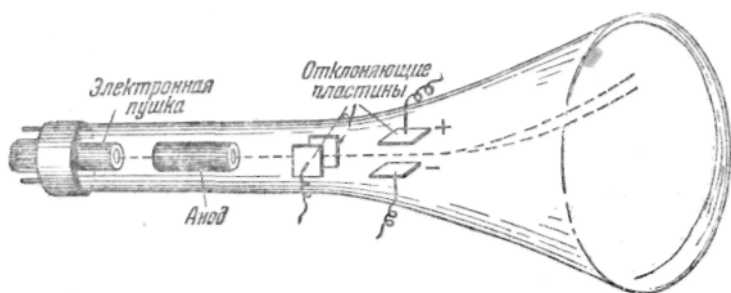


Рис. 21. Электронно-лучевая трубка.

изменить своё направление — он отклонится в сторону положительно заряженной пластинки. Представим себе, что в горизонтальной паре пластин верхняя пластина заряжена положительно, а нижняя — отрицательно. Тогда луч искривится и пятно окажется в верхней части экрана. Будем быстро менять знак зарядов этой пары пластин. Тогда пятно будет быстро бегать вверх и вниз по экрану, и мы увидим вертикальную светлую черту (рис. 22, а). Точно так же, быстро меняя знаки зарядов вертикальной пары пластин, можно получить горизонтальную светлую черту (рис. 22, б).

Если заряды одной пары пластин всё время быстро меняются, а на второй паре пластин заряд появляется только на один момент и быстро исчезает, то на экране получится светлая полоса с зубцом (рис. 22, в). Если на второй паре пластин мгновенный заряд появляется дважды, на экране будет видна полоса с двумя зубцами

(рис. 22, *г*). Такая электронно-лучевая трубка — основная часть радиолокатора. Радиолокатор — это прибор для определения с помощью радио места, где находится какая-нибудь (обычно невидимая) цель. Если на экране радиолокатора появляются зубцы, то это значит, что в

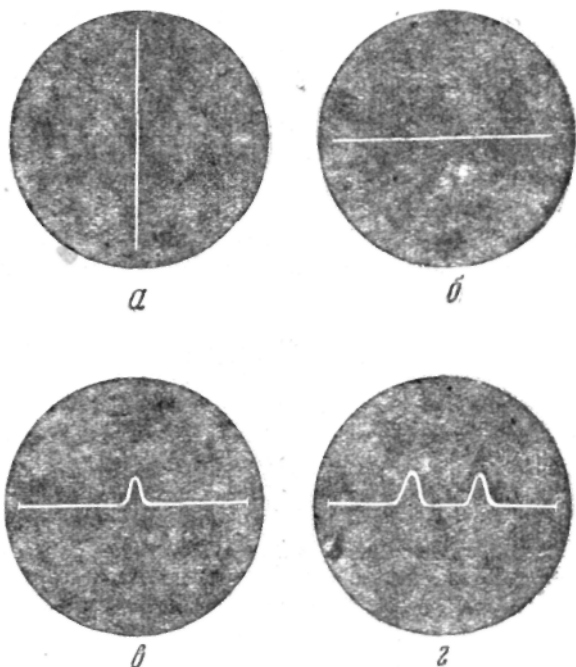


Рис. 22. Светящиеся линии на экране электронно-лучевой трубки.

поле действия локатора находится один или два предмета, например, самолёта.

По отклонению пятнышка на экране можно судить о том, появляются ли на отклоняющих пластинах заряды. Пусть эти заряды появились всего на одну миллионную долю секунды, — электронный луч всегда успеет отметить их появление, так как электроны, благодаря своей исключительной лёгкости, послушнее всех других тел отвечают на всякое внешнее воздействие. Поэтому элек-

тронно-лучевые трубки как нельзя лучше пригодны для изучения быстро протекающих электрических процессов, с которыми приходится иметь дело и в радиотехнике и в различных научных исследованиях, например, при изучении молний.

С помощью электронно-лучевых трубок стало возможным телевидение — передача изображений по радио. Над этим вопросом учёные и инженеры работали несколько десятков лет. Ещё в 1907 году, всего через десять лет после открытия радио А. С. Поповым, петербургский учёный профессор Г. А. Розинг предложил применить в телевидении электронно-лучевые трубки. Но в то время радиотехника находилась на очень низком уровне развития; достаточно сказать, что радиоламп ещё не было. Только в 1930 году идея Розинга была осуществлена и появились первые удачные телевизионные аппараты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тема нашего рассказа далеко не исчерпана тем, что написано в этой книжке. Много можно было бы ещё рассказать о том, как служат электроны в звуковом кино, в радиолокации, в различных автоматических устройствах; рассказать об удивительных счётных машинах, производящих вычисления в миллионы раз быстрее человека; об электролампах, дающих дневной свет; о приборах, позволяющих прекрасно видеть в темноте; об электронном микроскопе, с помощью которого человек может увидеть даже отдельные крупные молекулы...

Далеко не всё интересное и важное рассказано в этой книжке и о свойствах электрона. Электрон предстал перед читателем как очень маленькая по размерам и массе частица с постоянным определённым зарядом. Это, так сказать, одно «лицо» электрона. Но у него есть и второе «лицо»: электрон обладает свойствами волны, и есть много физических явлений, где электрон проявляет себя как волна.

Мы знаем об электроне многое, но наука продолжает открывать в нём всё новые свойства. «Электрон так же неисчерпаем, как и атом, природа бесконечна...», — писал

Ленин ещё тогда, когда об электро́не наука знала очень мало.

То, что люди уже узнали за небольшой срок, прошедший со времени открытия электро́нов, — лишь начало.

Не только радио и телевидение, которые просто невозможны без электронных ламп и электронно-лучевых трубок, но многие другие области науки и техники сейчас используют электронные приборы. И нет сомнений в том, что ближайшие годы принесут нам новые блестящие достижения электроники — науки об управлении электронами.



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ БИБЛИОТЕКА

1. Проф. М. Ф. СУББОТИН. Происхождение и возраст Земли.
2. Проф. И. Ф. ПОЛАК. Как устроена Вселенная.
3. Проф. В. Г. БОГОРОВ. Подводный мир.
4. Проф. Б. А. ВОРОНЦОВ-ВЕЛЬЯМИНОВ. Происхождение небесных тел.
5. Проф. А. А. МИХАЙЛОВ. Солнечные и лунные затмения.
6. Проф. В. В. ЛУНКЕВИЧ. Земля в мировом пространстве.
7. А. А. МАЛИНОВСКИЙ. Строение и жизнь человеческого тела.
8. Проф. И. С. СТЕКОЛЬНИКОВ. Молния и гром.
9. Проф. Б. Л. ДЗЕРДЗЕЕВСКИЙ. Воздушный океан.
10. Проф. А. И. ЛЕБЕДИНСКИЙ. В мире звёзд.
11. Проф. К. Ф. ОГОРОДНИКОВ. На чём Земля держится.
12. С. М. ИЛЬЯШЕНКО. Быстрее звука.
13. Проф. В. А. ДОРФМАН. Мир живой и неживой.
14. Проф. В. В. Ефимов. Сон и сновидения.
15. Проф. Г. С. ГОРЕЛИК и М. Л. ЛЕВИН. Радиолокация.
16. В. Д. ОХОТНИКОВ. В мире застывших звуков.
17. Ю. М. КУШНИР. Окно в невидимое.
18. Проф. В. Г. БОГОРОВ. Моря и океаны.
19. В. В. ФЕДЫНСКИЙ и И. С. АСТАПОВИЧ. Малые тела Вселенной.
20. Г. Н. БЕРМАН. Счёт и число.
21. Б. Н. СУСЛОВ. Звук и слух.
22. Е. П. ЗАВАРИЦКАЯ. Вулканы.
23. Проф. А. И. КИТАЙГОРОДСКИЙ. Строение вещества.
24. В. А. МЕЗЕНЦЕВ. Электрический глаз.
25. А. С. ФЕДОРОВ и Г. Б. ГРИГОРЬЕВ. Как кино служит человеку.
26. Проф. Р. В. КУНИЦКИЙ. День и ночь. Времена года.
27. Акад. В. А. ОБРУЧЕВ. Происхождение гор и материков.
28. Проф. Р. В. КУНИЦКИЙ. Было ли начало мира.
29. Проф. Г. П. ГОРШКОВ. Землетрясения.
30. Проф. И. Ф. ПОЛАК. Время и календарь.
31. Л. П. ЛИСОВСКИЙ и А. Е. САЛОМОНОВИЧ. Трение в природе и технике.
32. А. С. ФЕДОРОВ. Огненный воздух.
33. Проф. Н. А. ВАЛЮС. Как видит глаз.
34. Проф. Б. Б. КУДРЯВЦЕВ. Движение молекул.
35. Проф. В. И. ГРОМОВ. Из прошлого Земли.
36. Э. И. АДИРОВИЧ. Электрический ток.
37. В. С. СУХОРУКИХ. Микроскоп и телескоп.
38. А. С. ДАНЦИГЕР. Электрическая лампочка.
39. Н. В. КОЛОБКОВ. Погода и её предвидение.
40. Г. А. ЗИСМАН. Мир атома.
41. В. Д. ЗАХАРЧЕНКО. Мотор.
42. В. Д. ОХОТНИКОВ. Магниты.
43. Б. Н. СУСЛОВ. Между пылинками и молекулами.
44. Д. З. БУНИМОВИЧ. Фотография.