

# РАЗВИТИЕ СОВЕТСКОЙ ФИЗИКИ И ЕЕ ФИЛОСОФСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

---

## НАД ЧЕМ РАБОТАЮТ СОВЕТСКИЕ ФИЗИКИ\*

### НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА В СССР

За несколько последних десятилетий стерлась резкая грань между так называемой чистой наукой и техникой.

Завоевания мысли превращаются на наших глазах в технические формы: побеждаются расстояния, заливаются светом темные пространства, создаются новыми путями новые вещества. Люди понемногу овладевают мировой энергией, часто находя к ней доступ с самых неожиданных сторон, раздвигают рамки температур и давлений и побеждают стихии, находя средства к управлению ими.

С каждым годом научные открытия все быстрее и быстрее претворяются в жизнь, проникая в промышленность и сельское хозяйство. Вместе с тем никогда нельзя предсказать, какие именно области науки получат наиболее полное и быстрое применение. Можно привести десятки примеров, когда изучение явлений, которые, казалось бы, не имеют ни малейшего отношения к актуальным задачам промышленности сегодняшнего дня, приводит к выводам, совершающим переворот в технике. Можно лишь утверждать, что чем лучше, чем полнее

\* Статья, написанная совместно с проф. А. К. Вальтером, была опубликована в виде отдельной брошюры под названием: Над чем работают советские физики. М.: Московский рабочий, 1930.

Высказанные в статье оценки сохранили свое значение. Следует, однако, отметить, что дальнейшие исследования (в частности, А. Ф. Иоффе и его ученика А. П. Александрова) показали, что работы по тонкослойной изоляции содержали ошибки и сама идея использования тонких слоев для высоковольтной изоляции не может быть реализована. Обнаруженное в процессе проведения этих работ повышение значения пробивного напряжения изоляторов оказалось связанным с более совершенной структурой прослоек из изоляторов (в сравнении с техническими «массивными» изоляторами). Указанные работы имели и другие полезные выходы.

удается ученым разобраться в сущности какого-нибудь явления, тем легче оказывается применить на практике результаты их исследований.

Роль научного исследования для техники сознавалась всегда, но ее начали особенно подчеркивать только в конце XIX столетия, когда правительства государств стали брать в свои руки научное исследование. Пионерами в основании государственных научно-исследовательских институтов явились немецкие ученые, сумевшие доказать государственным деятелям и промышленникам Германии необходимость таких научных учреждений, которые обеспечили бы прогресс промышленности подсобными научными исследованиями. Первым институтом такого рода явился физико-технический имперский институт в Шарлоттенбурге близ Берлина, созданный на средства германской промышленности. Примеру Германии последовали Англия (Национальная физическая лаборатория) и США (Бюро стандартов в Чевинг-Чез близ Вашингтона), а также другие страны, среди которых на первом месте следует поставить Францию и Японию.

Эти первые научно-исследовательские институты теперь уже отчасти утратили свое выдающееся значение, уступив место огромному числу создающихся за последнее время в большом количестве новых современных институтов, отвечающих новым запросам.

В Советском Союзе научно-исследовательская работа ведется в десятках институтов, из которых несколько главных, основных, ближе стоящих к «чистой» науке, играют руководящую роль для целого ряда других институтов, ближе стоящих к производству, так называемых отраслевых институтов, непосредственно ведущих за собой заводские лаборатории.

Государственный физико-технический институт (ГФТИ) и Оптический институт в Ленинграде, недавно открытые физико-технические институты в Томске и Харькове, Химический институт им. Л. Я. Карпова в Москве — все это основные научные институты первой степени важности, находящиеся в расцвете своей деятельности и играющие существенную роль в жизни советской науки.

Из отраслевых институтов Союза большую работу ведут: теплотехнические институты (Москва и Ленинград), Всесоюзный электротехнический институт, Институт металлов, Керамический институт и др. Эти институты яв-

ляются промежуточным звеном между основными институтами и сетью заводских лабораторий.

Физика, которая в дореволюционное время была представлена немногочисленными лабораториями при нескольких университетах, в несколько послереволюционных лет сумела занять одно из первых в мире мест как по самостоятельности разрабатываемых вопросов, так и по качеству научного исследования.

В настоящее время, пожалуй, нельзя назвать ни одной области физики, которая бы не разрабатывалась в одном или нескольких научно-исследовательских институтах СССР. Если бы мы хотели познакомить читателей со всеми работами по физике, ведущимися на территории Союза, нам пришлось бы ограничиться только их перечнем.

Мы поступим иначе и сообразно главнейшим направлениям современной физики опишем основные практические работы, выполненные и выполняемые в лабораториях наших физических научно-исследовательских институтов.

## СТРОЕНИЕ АТОМА И ЕГО ЯДРА

Для человека, мало знакомого с современными методами научного исследования, весь окружающий мир представляется таким, каким его видят глаза, осязают руки и т. д. Попробуйте убедить обывателя, никогда не видавшего микроскопа, в том, что ничтожная капелька воды — это целый мир, в котором живут, размножаются, умирают и ожесточенно борются за свое существование десятки и сотни тысяч живых существ — бактерий, из которых многие играют решающую роль в жизни человечества, являясь причиной заболеваний, иногда, в случае эпидемии, опустошающих целые страны.

Трудно себе представить, во сколько раз человек больше такой ничтожной бактерии. Однако сравнительно недавно биологами был открыт целый мир гораздо более мелких существ, своеобразных простейших бактерий, или фагов, которые вызывают болезни бактерий и играют по отношению к ним ту же роль, какую обычные «крупные» бактерии играют по отношению к людям.

Почти невозможно представить размер этих маленьких паразитов, которые в сотни тысяч раз меньше таких

маленьких предметов, как, например, булавочная головка. Самые совершенные микроскопы, увеличивающие в несколько тысяч раз, не позволяют их видеть, и об их существовании можно лишь догадываться на основании косвенных опытов. Это те пределы малости, до которых доходит биология — паука, занимающаяся изучением живых существ.

Физика, изучающая явления окружающего мира главным образом на примере мертвой природы, учит нас, что весь видимый мир состоит из атомов — частиц, размеры которых еще во много тысяч раз меньше, чем размеры мельчайших бактерий — фагов, известных биологии. Хотя никакими самыми точными приборами нельзя увидеть отдельный атом, нередко его удастся заметить по тому действию, которое он оказывает на окружающую его среду. Все, что мы видим перед своими глазами, состоит из отдельных частиц, которые по своим размерам во столько раз меньше булавочной головки, во сколько последняя меньше земного шара.

Отдельные атомы расположены на довольно значительном расстоянии друг от друга. Как именно они располагаются, мы узнаем несколько позже, а пока остановимся еще на внутреннем строении атома, так как он в свою очередь имеет свое, более тонкое, строение. Может быть, на первый взгляд покажется, что такая картина строения вещества представляется слишком сложной; но она в каждой своей детали проверена и подтверждается данными опыта.

Каждый атом — это малейшая частица данного вещества, еще сохраняющая все его свойства. Атом золота — это еще золото со всеми его отличительными свойствами. В природе существует не очень много (92) сортов атомов, из различных комбинаций которых построен весь разнообразный мир окружающих нас предметов.

Ученые довольно долго предполагали, что атом — это простая частица, представляющая как бы «кирпич мироздания». Однако в течение последних десятилетий было показано, что и атом в свою очередь представляет собой довольно сложное образование, целую систему отрицательно заряженных частиц, вращающихся около положительно заряженного тяжелого ядра. При некоторых обстоятельствах атом может потерять на время один или несколько отрицательных зарядов, вращающихся вокруг его положительного ядра. При этом его свойства меня-

ются, но он может их восстановить, вернув недостающие заряды (атомы электричества, или электроны). Большинство свойств атома зависит от этих вращающихся вокруг его ядра зарядов, например: цвет вещества, его химические и электрические свойства.

Однако есть особый класс явлений, который стоит несколько особняком от остальных физических явлений. Это так называемая радиоактивность. Явление радиоактивности заключается в том, что некоторые вещества, встречающиеся в природе в очень малом количестве (десятые доли грамма в тоннах руды), обладают странным свойством: они непрерывно выбрасывают заряженные частицы и испускают лучи, не видимые глазом, но вызывающие почернение фотографических пластинок и обладающие во много раз большей проникающей способностью, чем рентгеновы лучи (широко известные по их применению в медицине). Количество энергии, излучаемое такими веществами, чрезвычайно велико.

Практическое их применение ограничивается пока использованием их лечебных свойств. Однако явление радиоактивности имеет огромное значение для выяснения строения атомов. Известно, что радиоактивность сводится к распаду ядра тяжелых атомов. Изучение этих явлений привело к тому заключению, что ядра всех атомов состоят из ядер простейших газов (водорода и гелия) и атомов отрицательного электричества.

Какие силы сдерживают между собой эти разнородные части ядра, стягивая их в необычайно малую и для большинства элементов очень прочную систему? Что отличает радиоактивные элементы, в которых ядро самопроизвольно распадается с выделением огромного количества энергии, от всех остальных элементов? Каковы запасы «внутриядерной энергии» для тех веществ, которые встречаются в природе более часто, чем архидрагоценный радий и другие радиоактивные элементы?

Над этими вопросами работают многие русские ученые. Достаточно сказать, что в Ленинграде имеется специальный институт, разрабатывающий вопросы, связанные с радиоактивностью. Помимо этого, работы по радиоактивности ведутся и в ряде других институтов (Рентгенопорadiологический, Физико-технический и т. п.).

Предсказывать практические применения этих работ чрезвычайно трудно, однако можно отметить, что наличие колоссального количества внутриатомной энергии не-

вольно приводит к мысли: не здесь ли нужно искать выхода из того энергетического кризиса, в который попадет человечество через 2—3 сотни лет, принимая во внимание чудовищный рост промышленности и относительно небольшие природные запасы топлива (леса, угля, нефти)?

## ОПТИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АТОМОВ И МОЛЕКУЛ

Оставив в стороне строение атомного мира, о котором, как мы видели, ученым известно очень немного, мы будем сейчас говорить лишь о тех свойствах, которые связаны со строением атома в целом, вернее, с движением вокруг него отрицательных зарядов — электронов, составляющих как бы оболочку вокруг положительного атомного ядра.

Мы уже указывали, что в природе имеется 92 сорта различных атомов. При этом надо иметь в виду, что больше половины из них представляет собой редкие элементы, встречающиеся в природе в ничтожном количестве. Однако в повседневной жизни мы встречаем огромное количество веществ, в десятки и сотни раз превышающее число элементов.

Причина этого заключается в том, что отдельные атомы могут соединяться между собою, образуя молекулу — частицу более сложного вещества, которая по внешнему виду может резко отличаться от составляющих ее элементов. Например, два атома водорода, соединяясь с одним атомом кислорода, дают молекулу воды. Таким образом, вода не является элементом, а представляет собой сложное вещество, состоящее из двух элементов. Можно назвать вещества, состоящие из трех, четырех и более элементов.

Вопросом об образовании сложных веществ, соединений из элементов, и, наоборот, о разложении на элементы, равно как и всеми вопросами, связанными с изменением самого вещества, занимается химия. Однако последнее время, когда физикам, с одной стороны, и химикам, с другой, удалось подойти к решению вопроса о том, как именно происходит соединение элементов, когда удалось показать, что химические свойства атомов и молекул связаны с движением вокруг атомного ядра наиболее удаленных от него так называемых внешних электронов, грань между физикой и химией начала стираться. Между ними

выросла новая область науки — физическая химия, или химическая физика.

В грубых чертах химическое соединение двух атомов представляется современному ученому в таком виде: атом одного из соединяющихся веществ (представляющий, как мы уже говорили, положительное ядро с вращающимися вокруг него на разных расстояниях отрицательными электронами) потерял при столкновении с другим или под действием света, который распатывает составные части атома, свой наиболее удаленный электрон. На пути его встречается атом другого вещества, к которому «пристал» лишний электрон. В этом случае их притягивает друг к другу сила электрического притяжения, и, подчиняясь этому влечению, они подходят друг к другу на достаточно близкое расстояние. Группа электронов начинает вращаться уже вокруг обоих атомных ядер, которые оказываются связанными между собой и продолжают далее совместное существование в виде молекулы нового вещества.

Очевидно, что здесь играет большую роль предварительная обработка атомов (отщепление электрона от одного из них и прилипание лишнего электрона к другому).

Конечно, это лишь самое грубое представление об одном определенном типе химического соединения — реакции, но и оно показывает, что это явление довольно сложно. Вместе с тем вся химическая и многие другие отрасли промышленности строят весь свой рабочий процесс на химических реакциях.

Химическая промышленность зародилась задолго до того, как ученые сумели детально разобраться в явлении химического соединения и распада. На промышленных предприятиях существовали свои традиции и передаваемые из поколения в поколение навыки. Много явлений, весьма важных для управления реакцией, не было понято, не было ясной теории для скорости реакций.

Теперь в научно-исследовательских институтах Союза (Химический институт им. Л. Я. Карпова в Москве, Государственный физико-технический институт) поставлен целый ряд работ, задачей которых является подробное изучение самой сущности химических превращений вещества. Например, в Ленинградском физико-техническом институте изучаются химические взаимодействия между различными газами, причем учитывается влияние всевозможных причин — нагревания, давления газа, посторон-

них примесей. На основании этих опытов уже удалось составить себе ясное представление о ходе многих химических процессов.

Особое значение имеют опыты по изучению влияния небольших примесей посторонних веществ, которые на первый взгляд никакого участия в химическом превращении не принимают. Между тем из практики известно, что часто бывает достаточно присутствия ничтожного количества какого-нибудь вещества, для того чтобы в десятки и сотни раз ускорить химическое превращение других продуктов. Это явление носит название катализа.

Совершенно ясно, что, разъяснив причины загадочного действия малых примесей, физики смогут найти те вещества, которые оказывают максимальное действие на ускорение химических превращений. Перспективы технического применения этой работы очевидны — ускорение производственных процессов химической промышленности сможет значительно увеличить ее продукцию и, таким образом, окажет помощь делу химизации страны.

В качестве другого примера можно привести изучение устойчивости сильно взрывчатых веществ (нитроглицерин и тротил), которое сможет объяснить причины нередких в настоящее время самопроизвольных взрывов запасов взрывчатых веществ, которые, сохраняя те же свойства, будут вполне безопасны при хранении и транспортировке.

Отметим, что при изучении химических превращений, особенно в случае процессов в газовой среде, где осуществляются наиболее простые и доступные для наблюдения условия химических превращений, исключительным подспорьем является спектрографическое исследование.

Спектрограф — прибор для изучения свечения различных тел — применяется при исследовании химических превращений. В известных условиях атомы всех тел испускают вполне определенный свет. Цвет этого свечения зависит от движения самых внешних электронов атомов, и поэтому (так как в атомах разных элементов электроны движутся по-разному) спектрограф может служить как для определения состава какого-нибудь вещества (спектральный анализ), так и для выяснения тех перемещений зарядов внутри атомов, которыми сопровождаются химические превращения.

Ряд работ по оптическому изучению свойств атома, поставленных в Государственном оптическом институте



(ГОИ) в Ленинграде, позволил сделать чрезвычайно ценные заключения о строении атома, движении электронов внутри его и проч. В области оптического исследования атома работы ГОИ занимают одно из виднейших мест среди работ ученых всего мира.

Химические превращения сопровождаются также изменением электрических свойств газов. При отщеплении электрона от атома или при прилипании его к последнему атом, бывший раньше нейтральным (заряд отрицательных электронов, вращающихся вокруг ядра, уравновешивается положительным его зарядом), превращается в заряженную частицу и, двигаясь в газе, переносит ток.

Химический анализ, оптический (спектральный) анализ и, наконец, изучение электрических свойств в совокупности дают в руки исследователя совершеннейшее орудие, пользуясь которым советские ученые надеются в ближайшие годы окончательно выяснить характер химических превращений и их внутреннюю сущность.

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГАЗОВ И ФИЗИКА «ПУСТОТЫ»

Газ представляет собой отдельные атомы или молекулы вещества, двигающиеся в полнейшем беспорядке, сталкивающиеся между собой и со стенками сосудов, в которых газ заключен. Никакими силами эти отдельные частицы не связаны между собой (в отличие от атомов жидких и твердых тел), и поэтому молекулы газов, разлетаясь во все стороны, стремятся равномерно заполнить тот объем, который этот газ занимает, оказывают очень незначительное сопротивление двигающимся в газе телам и т. д.

Как мы видели, газ представляет собой собрание незаряженных (электрически нейтральных) частиц. Поэтому при нормальных условиях он не проводит тока. Ток (перенос электричества) может происходить в теле только тогда, когда в нем есть заряженные частицы.

Пользуясь самыми точными приборами, можно, однако, установить, что некоторое, чрезвычайно малое количество заряженных частиц в газе все-таки имеется. Происходит это потому, что в окружающем нас пространстве рассеяны (хотя и в чрезвычайно ничтожных количествах) радиоактивные элементы, которые, как мы ви-

дели, испускают быстро движущиеся заряженные частицы. Итак, строго говоря, газы могут проводить электричество благодаря этим заряженным частицам. Правда, количество их настолько мало, что для всех практических целей можно считать газы совершенными изоляторами, непроводниками.

Однако эти малочисленные заряженные частицы дают себя чувствовать, когда в газе создаются сильные электрические поля. Поместив в газе два металлических шарика и заряжая их с помощью хотя бы электрической машины — одним электричеством положительного, а другой — отрицательного знака, мы получим между ними электрическое поле. В результате на всякую заряженную частицу, попавшую в пространство между шарами, будет действовать электрическая сила. Положительно заряженная частица газа начнет двигаться к отрицательно заряженному шару и наоборот. Внутри газа начнется движение электричества, т. е. через газ пойдет электрический ток. Чем больший заряд мы дадим нашим шарикам, тем сильнее будет электрическое поле, следовательно, и ток в газе будет все время возрастать.

Заряженные частицы, или, как их называют, ионы (по-гречески ион значит путник), при своем движении сквозь газ сталкиваются с атомами газа с тем большей силой, чем сильнее электрическое поле. Начиная с некоторой определенной силы электрического поля, картина резко меняется. В газе появляется свечение (которым, как мы видели, сопровождаются всякие перестройки атомов), ток через газ сильно возрастает, а иногда даже проскакивает искра, причем в этот момент через газ идет уже очень значительный ток. Газ перестает быть изолятором.

Эти бурные явления объясняются очень просто. Увеличивая силу электрического поля, мы все ускоряем и ускоряем полет заряженных частиц через газ. Начиная с некоторой определенной скорости, эти частицы (ионы) при столкновении с атомами газа разбивают их, отрывая один из внешних электронов, благодаря чему после каждого столкновения вместо одной заряженной частицы оказываются две. Эти новые ионы в свою очередь ускоряются электрическим полем и через мгновение, столкнувшись с атомами газа, разбивают и их. После каждого столкновения число заряженных частиц в газе удваивается.

Движение заряженных частиц в газе напоминает в этом случае лавину, которая, двигаясь, необъятно растет. Ведь достаточно всего десяти столкновений, чтобы число ионов в газе (а следовательно, и ток через него) возросло в тысячу раз. Это явление, которое носит название газового разряда, происходит при атмосферном давлении и довольно значительных электрических полях. Например, для того чтобы произошел разряд между шарами, расположенными на расстоянии всего в 1 мм, нужно приложить напряжение около 3000 В.

Разрежая газ (это мы можем сделать, выкачивая его из замкнутого сосуда с помощью воздушного насоса), мы уменьшаем количество частиц газа, заключенных в данном объеме, и облегчаем движение заряженных частиц под действием электрического поля, так как они претерпевают меньшее количество столкновений на своем пути. Благодаря этому газовый разряд при пониженном давлении начинается при меньших напряжениях. Можно подобрать такое давление газа, при котором разряд будет начинаться при напряжении в 200 или даже 100 В.

За последние годы очень большое количество ученых как за границей, так и у нас, в Союзе, занялось изучением электрических свойств разреженных газов. Описанные выше свойства газового разряда, а также испускание электричества раскаленными телами позволили в течение нескольких лет создать целую обширную отрасль промышленности — производство электрических пустотных приборов, или электровакуумную технику (вакуум — полатыни пустота).

В частности, изучение в Ленинградском государственном физико-техническом институте газового разряда при пониженном давлении привело к разработке конструкции защитных приспособлений для линий слабого тока. Этот вопрос получил актуальнейшее значение в связи со строительством силовых электростанций и развитием электропередач высокого напряжения.

Нередки случаи, когда линии передачи высокого напряжения проходят неподалеку от линий слабого тока (телеграфа, телефона, железнодорожной сигнализации). При работе линии высокого напряжения, а в особенности при включении и выключении ее, в сети слабого тока появляются наведенные (индуктированные) электрические заряды, которые не только могут мешать работе телеграфа, но и угрожают целостности приборов и жизни об-

служивающего персонала. Достаточно, например, указать, что при выключении линии передачи Волховской гидроэлектрической станции провода линии железнодорожного телеграфа Мурманской железной дороги могли бы зарядиться до 7000 В, если бы линия не была снабжена защитными предохранителями. В таком положении находятся Штеровская станция, Московско-Казанская железная дорога и многие другие.

Конструкция газовых предохранителей, которыми оборудованы все линии слабого тока, проходящие неподалеку от высоковольтных линий передач, в основном следующая.

В сосуд, заполненный газом при пониженном давлении, впаяны две металлические гильзы-электроды, между которыми происходит разряд. Состав и давление газа, а также материал электродов подобраны таким образом, чтобы разряд происходил при напряжении около 50 В.

Один из электродов такого разрядника присоединяется к защищаемой сети, другой отводится к земле. При нормальной работе линии напряжение между сетью и землей не превышает 50 В, причем разрядник практически не проводит тока. Как только в сети появляются заряды, вызванные внезапным нарастанием напряжения в линии электропередачи, и напряжение сети возрастает выше 100 В, в предохранителе происходит разряд, и весь опасный заряд отводится к земле. После этого разряд в предохранителе мгновенно прекращается, и линия опять готова к работе.

Помимо предохранителей, существуют еще многочисленные применения газового разряда при пониженном давлении. Особо отметим основанные на этом явлении приспособления для превращения переменного тока в постоянный — выпрямители с тлеющим разрядом, ртутные выпрямители, которые с каждым годом завоевывают себе применение, вытесняя дорогие стоящие моторгенераторные преобразователи. Почти целиком на такого рода выпрямители перешли радиовещательные станции.

Вопросами применения газового разряда при пониженном давлении занимаются в целом ряде лабораторий, в частности в заводских лабораториях Москвы и Ленинграда. Однако большинство работ концентрируется в Центральной радиолaborатории (Ленинград).

В настоящее время физики располагают весьма разнообразными приборами, позволяющими производить раз-

режение газов (откачку). Из приборов, имевших применение только в лабораториях главным образом для демонстрации любопытных свойств разреженных газов, разрежающие насосы стали не только одним из основных орудий лабораторной работы, но и основой целых отраслей промышленности. Лучшие из воздушных насосов позволяют производить разрежение газов в миллиарды раз (давление остатков газа при этом не превышает нескольких стомиллионных миллиметра).

Количество атомов в столь разреженном газе настолько мало, что ионы в нем могут двигаться, вовсе не сталкиваясь на своем пути, благодаря чему в чрезвычайно сильно разреженных газах (в вакууме) разряд не происходит даже при очень больших электрических полях.

Целый ряд имеющих громадное практическое применение пустотных приборов основан на том, что металлы при достаточном нагревании начинают испускать отрицательные электрические заряды (электроны). Помещая в вакууме два электрода, из которых один нагрет до такой степени, что испускает отрицательное электричество, мы получаем прибор, который может пропускать ток только в одном направлении, т. е. выпрямитель. Такого рода выпрямители (кенотроны) особенно выгодны для выпрямления переменного тока очень высокого напряжения.

Это же явление лежит в основе действия катодных ламп, применяемых в радиоприемниках. Можно сказать, что те колоссальные темпы, которыми в последние годы развивается радиосвязь, и в основном радиовещание, стали возможными только благодаря усовершенствованию катодных ламп. Это славное дело было выполнено в СССР разными лабораториями и в особенности Нижегородской радиолaborаторией, которая в настоящее время почти целиком перешла в состав Центральной радиолaborатории (Ленинград).

Сейчас ряд советских ученых занят вопросом о том, каким образом облегчить выход электронов из раскаленного металла. Было замечено, что для разных металлов выход электронов начинается при различных температурах. Все радиолюбители, вероятно, ощущали досадное чувство, вызванное необходимостью пользоваться тяжелыми, громоздкими и хлопотливыми в обращении батареями аккумуляторов накала. Вероятно, большинство из них помнит появление так называемых микроламп

с нитью, покрытой торием, которые требовали в 10 раз меньшего тока накала.

Нужно надеяться, что дружные усилия ученых, направленные на изыскание способов облегчения отрывания электронов из раскаленных тел, приведут в скором времени к тому, что необходимый для накала ламп ток окажется еще в десятки раз меньшим, благодаря чему батареи накала, которые до сих пор были самой тяжелой и громоздкой частью радиоприемника, будут сокращены в своих размерах и стоимости.

Промышленные и коммерческие перспективы этого усовершенствования особенно велики в связи с тем, что радиоприемная аппаратура имеет чрезвычайно широкое распространение.

## СТРОЕНИЕ ТВЕРДОГО ТЕЛА И РЕНТГЕНОВЫ ЛУЧИ

Из нашего беглого очерка видно, что электрические свойства газов находят себе широкое техническое применение. Однако в промышленности имеют преимущественное применение тела в твердом состоянии. Изучение всевозможных свойств твердых тел — их строения, электрических, магнитных, механических и других свойств — имеет поэтому исключительное значение для техники.

Мощным орудием для изучения твердого тела оказались рентгеновы лучи, открытые в 1895 г. Эти лучи представляют собою такие же электромагнитные колебания, как радиоволны или свет, но отличаются от тех и других длиной волны (частотой) своих колебаний.

Мы видели, что разные изменения в движении внешних электронов атома сопровождаются испусканием света. Если атом подвергается более сильным воздействиям (например, удару очень быстро несущегося электрона), то в нем могут произойти более радикальные перестройки, могут быть вырваны внутренние, более тесно связанные с ядром электроны, и эти-то изменения в атоме и сопровождаются испусканием рентгеновых лучей. Чем большие количества энергии выделяются в атоме при перегруппировке составляющих его зарядов, тем более короткой длины получаются волны и испускаются лучи.

При перегруппировках самых внешних электронов испускаются видимые лучи (свет), при перегруппиров-

ках ближе расположенных к ядру (внутренних) электронов — лучи Рентгена и, наконец, при разрушении самого ядра — радиоактивное излучение, или так называемые гамма-лучи, которые обладают самой короткой длиной волны.

Проникающая способность и малая длина волны рентгеновых лучей делают особенно ценными их научные и технические применения. Проникающей способностью рентгеновых лучей широко пользуются в медицине для просвечивания тела человека в целях обнаружения внутренних повреждений и инородных тел, а также и для лечения внутренних органов. В последнее время рентгеновская техника шагнула далеко вперед, благодаря чему оказалось возможным применить рентгеновское просвечивание и для испытания технических материалов.

Рентгеновская трубка состоит из стеклянного или металлического баллона с сильно разреженным газом; в баллон впаяны металлические электроды. Между ними прикладывается очень значительное напряжение (от 20 000 до 200 000 В), ускоряющее двигающиеся между электродами заряженные частицы, которые при ударе об электрод вызывают появление рентгеновых лучей.

Между трубкой и фотографической пластинкой помещается исследуемая деталь. После проявления на пластинке появляется изображение исследованного предмета, причем все внутренние дефекты: пустоты (раковины) и т. п. могут быть легко замечены благодаря тому, что почернение пластинки будет более значительным, поскольку в этих местах рентгеновым лучам приходится проходить меньшую толщину металла.

Такой метод исследования готовых изделий был разработан в Ленинградском государственном физико-техническом институте и в настоящее время получает широкое применение в заводских лабораториях металлообрабатывающей промышленности.

Достаточно указать, что с помощью этого метода можно обнаружить в готовом маховом колесе (толщиной 8 см) раковины, размер которых составляет около 2 мм.

Однако еще более ценным свойством рентгеновых лучей, которое превратило рентгеновский анализ в один из основных способов изучения твердого тела, является малая длина волны этих лучей.

Наблюдая за водой возле причальных тумб или стоящих в воде свай, на которых построена пристань, мы

видим, что крупные волны, не отражаясь, проходят через ряд свай, тогда как мелкая рябь, отражаясь от каждого столба, дает причудливые картины переплетающихся волн и отраженную рябь, распространяющуюся в обратную сторону.

Точно так же звуковые волны, отражаясь (вызывая эхо) от крупных препятствий (длинных высоких зданий, резкой границы леса и т. п.), огибают, не отражаясь, небольшие препятствия, такие как отдельные деревья, столбы и т. п. Вообще отражение происходит лишь от таких предметов, которые по своим размерам превышают длину волны колебания.

Видимый свет имеет длину волны от 4 до 80 тысячных миллиметра. Размеры отдельных атомов и молекул еще в сотни и тысячи раз меньше, благодаря чему видимый свет не отражается от отдельных молекул, и мы бы никогда не могли их увидеть, если бы не рентгеновы лучи, которые обладают меньшей длиной волны, чем размеры отдельных атомов.

Пропустив рентгеновы лучи через кристалл, физик Лауэ заметил, что пучок рентгеновых лучей разделяется кристаллом на целый ряд пучков, как будто внутри кристалла имеется ряд зеркал, расположенных под разными углами к пути луча. Это исключительное по своей важности наблюдение послужило основой для развития обширнейшей области знания и пролило свет на внутреннее строение твердого тела.

Изучение твердых тел с помощью рентгеновых лучей показало, что кристаллы построены из атомов или ионов (заряженных атомов), расположенных в пространстве с необыкновенной правильностью.

Отдельные частицы, притянутые друг к другу силами взаимодействия их электрических зарядов, образуют то, что называется пространственной решеткой. Например, кристаллы поваренной соли можно себе представить как целый ряд плоскостей, по которым в шахматном порядке расположены ионы натрия и хлора. Другие кристаллы обладают более сложным строением, но все части одного и того же кристалла построены совершенно тождественно.

Частицы составляющих кристалл элементов расположены в строгой последовательности и на вполне определенных расстояниях. Благодаря такой правильности строения кристаллов, нетрудно, зная заряды отдельных ионов, вычислить целый ряд свойств кристалла, напри-



мер его механическую прочность, т. е. ту силу, которая требуется для разрыва кристалла, и т. д.

Итак, кристаллическое состояние вещества характеризуется правильностью своего строения. Но какое значение для техники может иметь изучение свойств кристаллов? Ведь в повседневной жизни мы, казалось бы, почти не встречаемся с кристаллами и смотрим на них лишь как на курьезное явление природы. Однако изучение строения технических материалов показало, что кристаллическое состояние имеет гораздо больше значения, чем это кажется на первый взгляд.

Правда, в природе и в технике редко приходится иметь дело с большими кристаллами, но зато почти все технические материалы (железо, сталь, цветные металлы и т. д.) представляют собой не что иное, как совокупность, сращение бесчисленного количества мелких кристаллов, размером не более малых долей миллиметра, каждый из которых представляет собой настоящий кристалл, построенный из миллионов атомов или ионов с такой же правильностью, как и большие кристаллы.

Размер, взаимное расположение, а также внутреннее строение отдельных кристалликов могут быть изучены со помощью рентгеновых лучей. Мало того, рентгеновский анализ позволяет выяснить сущность явлений, происходящих в материале при горячей или холодной его обработке (при отжиге, закалке, наклепе). Все виды обработки сводятся к изменению строения, размеров и взаимного расположения отдельных кристаллических зерен, из которых состоит технический материал.

Изучение вопросов строения технических материалов и значения их обработки было начато еще более десяти лет тому назад в Ленинградском государственном физико-техническом институте и привлекло чрезвычайное внимание всей металлообрабатывающей промышленности.

Рентгеновское исследование структурных изменений металлов при их обработке, поставленное в настоящее время на ряде крупных металлических заводов (Марнупольском, Кальчугинском), привело к упрощению и рационализации технологических процессов и к крупной экономии.

Особый интерес представляют ведущиеся сейчас в Ленинградском государственном физико-техническом институте работы по разработке новой формы рентгеновского изучения материала. Ведь до сих пор получение рентгено-

граммы материала, по которой можно судить о его строении, требовало значительного времени; поэтому нельзя было пользоваться рентгеновскими методами для изучения явлений, довольно быстро меняющих строение вещества. Нельзя было, например, производить рентгеновские наблюдения над изменениями, происходящими в материале во время его отжига или закалки, и приходилось ограничиваться снятием рентгенограмм до и после соответствующей операции.

Сейчас путем громадного повышения мощности рентгеновских трубок пытаются сократить необходимый для получения рентгенограмм срок до возможного предела, что приведет к созданию своего рода рентгеновского кино, т. е. приспособления для записи быстро текущих процессов. Это имело бы колоссальное значение для изучения и рационализации процессов горячей обработки металлов.

Помимо изучения структурных изменений при обработке материалов, нужно указать еще на то значение, которое рентгеновский анализ имеет для изучения сплавов, следовательно, для более рационального подбора составляющих их веществ. Эта задача очень важна благодаря тому, что современная техника все шире пользуется сплавами часто из очень большого количества металлов.

Московский рентгеновский институт с успехом решил ряд прикладных вопросов, связанных с производством рентгеновской аппаратуры, спрос на которую значительно возрос в связи с расширением сети рентгеновских лабораторий на металлообрабатывающих заводах. Эта аппаратура теперь производится в Советском Союзе, что в значительной мере освобождает от необходимости приобретать дорогое и сложное оборудование за границей. Этим достигается значительная экономия валюты.

## МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ И НОВЫЕ СПОСОБЫ ИХ ИСПЫТАНИЙ

Механические свойства материалов представляют собой чрезвычайно важную область физического исследования, так как при расчете и конструировании каких бы то ни было сооружений, начиная от часовой пружины и кончая железнодорожным мостом, нужно знать упругие

свойства и прочность применяемых в конструкции материалов.

Советские ученые вкладывают немало труда в усовершенствование методов механических испытаний. Как пример можно привести разработанные в Ленинградском государственном физико-техническом институте радиоэкстенсометр и струнный прибор для испытания строительных сооружений.

Первый из них служит для измерения чрезвычайно малых изменений длины коротких испытываемых образцов при небольших нагрузках.

Струнный прибор, конструкция которого очень проста, применяется для изучения деформаций готовых сооружений. При исследовании в разных точках сооружения прикрепляются колки, между которыми натягиваются струны. В начале опыта все струны настраиваются в один тон, после чего исследуемое сооружение нагружается. Благодаря сжатию или растяжению его отдельных частей, расстояние между колками, а следовательно, и натяжение струн меняется. Заставляя звучать эти струны после нагрузки и подстраивая к их изменившемуся тону тон струны, укрепленной между колками на деке специального приборчика, конструкция которого позволяет измерять расстояние между его колками, определяют деформацию отдельных частей сооружений.

Этот способ получил широкое применение в строительной технике. С его помощью удалось решить целый ряд практических задач: измерить натяжение в различных частях железобетонных мостов при проходе проездов, давление зыбучего грунта на канализационные железобетонные трубы, натяжение в стержнях габионов (клеток из толстой проволоки, заполняемых камнями и укладываемых в качестве основы при подводных строительных работах).

Помимо разработки методов механического исследования — задачи, технически очень важной, но не дающей ответа на вопрос о причинах прочности и упругих свойств материалов, советские физики были заняты изучением механических свойств кристаллов.

Однокристалльные образцы при исследовании всевозможных свойств материалов имеют неоспоримые преимущества перед обычно применяемыми в технике мелкокристаллическими материалами. Однокристаллы построены наиболее правильно, и благодаря этому происходящие

в них явления отличаются большой простотой и закономерностью — в них легче разобраться, легче их предвидеть, рассчитать и истолковать.

Изучив свойства кристалла железа, легче перейти к техническому железу, представляющему собрание микроскопических кристалликов. Для изучения кристаллов нужно прежде всего их получить, а это далеко не всегда простая задача. В СССР многие физики, металлурги и минералоги работали над получением крупных кристаллов и в результате этих работ научились получать крупные кристаллы целого ряда металлов и других материалов.

Преимущества изучения свойств материалов на кристаллах были своевременно оценены и за границей, и там ученые трудились над проблемой выращивания крупных кристаллов. Таким образом, достижения советских ученых в области получения кристаллов представляют немаловажный вклад в мировую науку.

Мы уже говорили, что благодаря правильности строения кристаллов их физические свойства могут быть определены, если известны расстояния между отдельными атомами или ионами кристалла, а также свойства отдельных атомов. Чем проще строение кристалла, тем легче вычислить характеризующие его параметры.

Одним из самых простых кристаллов является кристалл каменной соли. Зная заряд ионов хлора и натрия, из которых он состоит, и определив их взаимное расположение с помощью рентгеновых лучей, удалось подсчитать ту силу, которую нужно приложить к кристаллу, для того чтобы разорвать его, т. е. вычислить прочность кристалла. Она оказалась равной 200 кГ для кристалла с поперечным сечением в 1 мм<sup>2</sup>. Этот результат являлся вначале неприятной неожиданностью для физиков, занимавшихся вопросом прочности твердых тел, так как опыты по разрыву каменной соли в обычных условиях дают значение прочности всего в 0.5 кГ на 1 мм<sup>2</sup>.

Работами ученых в Ленинградском государственном физико-техническом институте было полностью выяснено это несоответствие между теоретической и практической прочностью кристаллов. Причины его можно пояснить следующим примером. Возьмем за концы аккуратно вырезанную полоску плотной бумаги. Попытаемся разорвать ее. Для разрыва нужно приложить довольно значительную силу. После этого у края такой же полоски сделаем

маленький надрыв. Теперь для ее разрыва необходима во много раз меньшая сила.

Оказывается, что малые показатели прочности кристаллов объясняются мельчайшими, даже незаметными для невооруженного глаза, трещинами на его поверхности. Погружая кристалл соли в воду, которая, растворяя поверхность, не дает образовываться трещинкам, можно наблюдать многократное увеличение его прочности. Удалось, соблюдая эту меру предосторожности, получить кристаллы, выдерживавшие нагрузки до 160 кг на 1 мм<sup>2</sup>, т. е. наблюдать упрочнение кристалла более чем в 300 раз.

Особенно интересным был опыт, когда кристаллу соли придавалась форма цилиндрика, у которого в середине делалась выточка, так что сечение средней части цилиндра было в 20 раз меньше, чем сечение крайних частей, захваченных прибором, применявшимся для растяжения. В воду погружалась только средняя выточенная часть малого сечения, тогда как толстые части кристалла около захвата оставались сухими. Разрыв происходил всегда в сухой части, несмотря на то что ее сечение было в несколько десятков раз больше, чем сечение средней части кристалла. Полученные значения прочности, превышающие 150 кг на 1 мм<sup>2</sup>, лежат очень близко к теоретически вычисленной прочности. Этим подтверждается правильность наших представлений о кристаллическом состоянии вещества.

То обстоятельство, что повседневно наблюдаемая техническая прочность материала представляется весьма ничтожной по сравнению с той прочностью, которой обладает материал, находящийся в надлежащих условиях, невольно наводит на мысль о том, что в технических конструкциях материал используется нерационально.

Разумеется, от лабораторных опытов, которые позволили наблюдать трехсоткратное увеличение прочности кристаллов, до применения на практике этого явления еще очень далеко. Потребуются годы, а может быть, и десятилетия напряженной совместной работы ученых и техников, для того чтобы на основе этих фактов рационализировать использование технических материалов. Но сама возможность многократного механического упрочнения материалов сулит — пусть даже в далеком будущем — совершенно новые пути для техники. Увеличение в несколько раз прочности материалов приводит к уменьшению во столько же раз веса всякой технической кон-

струкции. Само собой понятно, что это значит для любой отрасли техники.

Помимо изучения механической прочности кристаллов, советские ученые занимались вопросом о природе пластической деформации кристаллов. Эти работы велись как в Ленинградском государственном физико-техническом институте, так и в соответствующей лаборатории Томского университета.

Под влиянием растягивающей силы кристалл удлиняется, причем до некоторого предельного значения растягивающей силы его деформация (удлинение) является обратимой, т. е. при разгрузке кристалл принимает первоначальные размеры. Такое растяжение носит название упругой деформации.

Начиная, однако, с некоторого предела нагрузки, кристалл перестает возвращаться к своим первоначальным размерам; после разгрузки он остается несколько удлиненным. Такого рода удлинение носит название пластической деформации. Она имеет большое значение для механических свойств, так как кристалл, предварительно подвергнутый пластической деформации, оказывается более прочным при испытании на разрыв, нежели свежий, недеформированный кристалл.

Для изучения этого явления были применены самые разнообразные методы: механические (измерение удлинения при разгрузке), оптические, рентгеновские. В результате обнаружилось весьма интересное явление. Под действием значительной нагрузки кристалл удлиняется не постепенно, не течет, как думали ученые прежнего времени, а внезапно, через довольно регулярные промежутки времени. Деформация кристалла идет скачками: одна часть кристалла при этом как бы сползает с другой. В месте такого скольжения кристаллическая решетка уже разрушена. По мере растяжения весь кристалл оказывается испещренным подобными следами скольжения.

Все эти явления, которые еще и до сих пор нельзя признать достаточно разъясненными, очень близко сопрягаются с вопросами холодной обработки технических материалов (наклепа), загадочного явления «усталости» и т. п.

Ряд новых фактов, обнаруженных советскими физиками, позволяет надеяться, что скоро и эта важнейшая область перестанет быть темной страницей как для ученых, так и для инженеров-производственников. Вся совре-

менная технология металлов, применяемая в металлообрабатывающей промышленности, основана на этих явлениях и очень часто представляет собой собрание рецептов, испробованных практикой, смысл которых еще далеко не понятен.

Не зная самой сущности явления, никогда нельзя сказать, является ли данная операция действительно необходимой, нельзя существенно реорганизовать производственный процесс. Потому-то этот цикл работ имеет актуальное значение даже для промышленности сегодняшнего дня

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ ТЕЛ

В связи с поставленным перед современной техникой требованием передачи электрической энергии на большие расстояния, что связано с увеличением мощности существующих и строительством новых крупных электростанций, расположенных вдали от мест потребления энергии, приходится переходить к передачам все более и более высокого напряжения. При этом особенную важность приобретает вопрос об изоляции, так как стоимость изоляции составляет главный расход при постройке высоковольтных станций и линий передач.

До последних лет физическая природа процессов, происходящих в изоляторах (непроводниках), была совершенно неясной, и широко поставленное научное исследование электрических свойств твердых изоляторов является исключительной заслугой советских ученых. Можно смело сказать, что в этой области наши научные исследования опередили заграничные, и авторитет наших ученых этой специальности признается повсеместно.

Наиболее темным местом в свойствах твердых изоляторов было явление пробоя, которое, напоминая по характеру явление газового разряда, описанное нами выше, заключается в том, что, приложив к образцу изолятора некоторое напряжение и постепенно его увеличивая, мы вначале наблюдаем лишь небольшое увеличение текущего в изоляторе тока, и то лишь в том случае, если в нашем распоряжении имеются очень тонкие приборы, так как ток через изоляторы при нормальных условиях очень мал. Внезапно при некотором напряжении через изолятор проскакивает искра, ток чудовищно увеличивается — изолятор теряет свои свойства. При этом можно

видеть, что между электродами образовался канал, представляющий непоправимое разрушение.

Во избежание пробоя изоляции в условиях ее практической работы, который приводит к выключению целой линии передачи, а в случае пробоя изоляции кабеля — и к очень длительным ремонтным работам, во всех электротехнических сооружениях приходится прибегать к очень значительному запасу прочности, что делает изоляционные устройства весьма дорогими и громоздкими.

Для того чтобы разобраться в явлении пробоя, было начато исследование электрических свойств твердых изоляторов, и в первую очередь изолирующих кристаллов.

Предварительно нужно было решить, каким образом изоляторы вообще проводят ток, какие заряженные частицы в них могут двигаться и т. д. В решении вопроса об электрических свойствах твердых изоляторов приняла участие большая группа советских ученых. Работы в этой области велись преимущественно в Ленинграде (Государственный физико-технический институт), частично в Томске (лаборатория университета) и в Москве (Всесоюзный электротехнический институт).

Определяя электрические свойства кристаллов, мы можем так же, как и для механических свойств, рассчитать, вычислить ожидаемые свойства. В самом деле, рассмотрим кристалл каменной соли. Он состоит из ионов (заряженных атомов) хлора и натрия. Они расположены в правильном порядке и удерживаются силами взаимного притяжения их электрических зарядов. Что же произойдет, если к нашему кристаллу приложить электрическое напряжение, т. е. создать в нем электрическое поле? Положительные ионы (натрий) начнут притягиваться к отрицательному электроду, отрицательные (хлор) — к положительному; при некоторой величине поля сила притяжения между электродами и ионами превысит силу взаимного притяжения ионов, и кристалл будет разрушен электрическим полем.

Электрическое поле, при котором произойдет это разрушение, является теоретическим пределом электрической прочности; для кристалла, например, каменной соли толщиной в 1 см оно соответствует напряжению около 100 млн В. Вместе с тем пробой, т. е. электрическое разрушение кристаллов, наступает обычно гораздо раньше, при электрических полях, в 100—200 раз меньших.



Для того чтобы понять, в чем причина явления пробоя, которая, как видно из этого подсчета, не является разрывом кристалла под действием электрических сил, нужно немного подробнее остановиться на явлении прохождения тока через твердые изоляторы.

Отдельные ионы, из которых состоит непроводящий кристалл, все время совершают беспорядочные колебания. Только при очень низких температурах кристалл действительно представляет ту исключительно правильную систему из чередующихся положительно и отрицательно заряженных атомов, которую мы описывали выше. С повышением температуры ионы начинают раскачиваться на своих местах — и тем сильнее, чем выше температура. При этом некоторым ионам удастся качнуться настолько сильно, что они срываются со своего места и получают возможность двигаться внутри кристалла. Чем выше температура, тем больше ионов срывается со своих мест, тем сильнее кристалл отличается от той идеально правильной системы, которую мы себе представляли. Наконец, при определенной температуре в кристалле возникает такой беспорядок, что электрическое притяжение между отдельными ионами оказывается не в силах поддержать утраченный порядок. Весь кристалл расплывается, расплывается — это явление соответствует плавлению кристалла, превращению его в жидкость.

При комнатной температуре большинство кристаллов представляет собой почти безупречно правильную систему. Только ничтожно малое количество ионов вырывается со своих мест под влиянием раскачивания, которое носит название теплового движения.

Само собой разумеется, что, когда к кристаллу прикладывается напряжение, т. е. в нем создается электрическое поле, эти оторвавшиеся ионы начинают двигаться в кристалле, т. е. возникает ток.

Из сказанного выше становится ясно, что с понижением температуры кристалла ток, проходящий через него, будет уменьшаться, а при повышении ее — увеличиваться. В этом явлении и лежит причина пробоя для некоторых изолирующих материалов.

Представим себе пластинку из какого-нибудь изолирующего вещества, помещенную между металлическими электродами, к которым приложена разность потенциалов. Через изолятор пойдет ток. Прохождение тока (как бы мал он ни был) всегда вызывает некоторое нагрева-

ние. Внешние части изолирующей пластинки будут нагреваться меньше, так как им легче отдавать выделяющееся тепло окружающему пространству. Больше всего нагреется часть пластинки, расположенная между самыми средними частями электродов. Это нагревание, как мы видели, вызовет отрывание новых ионов внутри изолятора, что в свою очередь приведет к увеличению тока через среднюю часть изолятора и к ее дальнейшему нагреванию. Весь вопрос в том, достаточно ли будет отдаваться тепла нагретым местом образца окружающему пространству и электродам. При достаточно большом напряжении, приложенном к образцу, температура его средней части будет быстро повышаться, ток через нее — быстро увеличиваться, что довольно скоро приведет к образованию в изоляторе проводящего каналца, т. е. к пробое.

Это явление теплового пробоя наблюдается во всех непроводниках при повышенной температуре. В некоторых материалах происходит пробой и при комнатной температуре, однако число таких изоляторов сравнительно невелико. В большинстве изолирующих материалов число ионов, освобожденных тепловым движением, настолько мало, что вызванное их движением нагревание никак не может привести к сколько-нибудь опасным для изолятора последствиям. Пришлось искать какие-то новые явления для объяснения пробоя изоляторов, и они были найдены ленинградскими учеными.

Оказалось, что в большинстве изоляторов явление пробоя очень напоминает газовый разряд: заряженные частицы разгоняются электрическим полем. При определенном поле их скорость делается настолько значительной, что при столкновении с ионами, закрепленными в кристалле, они выбивают последние с их положений. Каждый из двигавшихся в кристалле ионов после столкновения вырывает новый, так что вместо одной заряженной частицы оказывается 2, при следующем столкновении их делается уже 4, потом 8 и т. д. Легко убедиться, что при достаточном количестве столкновений число ионов, а следовательно, и ток через изолятор будут чудовищно расти. Понятно, что выделившегося при движении этой ионной лавины тепла будет достаточно, чтобы расплавить, разрушить, «пробить» кристалл.

Казалось бы, что из этого безотрадного положения нет выхода. Какой бы совершенный изолятор ни взять,

как бы мало в нем ни было начальное число подвижных ионов, все равно при определенном напряжении поля возникает неумолимая ионная лавина, которая приведет к разрушению изолятора.

Однако и здесь удалось найти остроумный выход из положения. Представим себе листок изолятора, толщина которого настолько мала, что при движении от одного электрода до другого ион испытывает всего пять столкновений. Что же произойдет, если напряжение, приложенное к такому образцу, будет достаточно для того, чтобы подвижные ионы стали вырывать при столкновениях ионы, закрепленные на своих местах? Каждый ион на своем пути от одного электрода до другого претерпит пять столкновений, и, таким образом, число ионов, движущихся в изоляторе, т. е. ток через него, возрастет всего в  $2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2$ , т. е. в 32 раза. Словом, для тонкого листка изолятора ионная лавина не сможет достигнуть сколько-нибудь опасной величины.

Чем меньше толщина изолятора, тем ближе его электрическая прочность к пределу прочности, вычисленному как электрическая сила, необходимая для разрыва кристалла. Для очень тонких слоев изолятора, например для листочков слюды толщиной в несколько десятитысячных миллиметра, наблюдаемая электрическая прочность соответствует вычисленной.

Из этих данных можно сделать немаловажное практическое заключение: собрав ряд очень тонких изолирующих слоев с прослойками из вещества, не пропускающего ионы (например, из проводника), мы получим технический изолятор, для которого не страшна ионная лавина и прочность которого, следовательно, во много раз выше прочности обычных, сплошных, изоляторов и стремится к чудовищно высокой цифре — к 100 млн В на 1 см.

Разумеется, практическое осуществление изоляции такого типа встречает большие трудности. Оно требует разработки совершенно новых технологических приемов, неизвестных ранее электротехнической промышленности. В самом деле, получение совершенно однородных слоев толщиной в тысячные доли миллиметра является далеко не легкой задачей. Вместе с тем технический интерес проблемы огромен.

Отметим, что здесь идет речь о создании нового типа изоляции, прочность которой в несколько десятков раз выше, чем у наилучших из применяемых сейчас типов.

Нет необходимости говорить о тех возможностях, которые открылись бы после разработки технического типа изоляции в деле высоковольтного магнито-, трансформаторо- и аппаратостроения.

Что же касается перспектив в кабельном деле, то здесь достаточно сослаться на мнение одного авторитетного немецкого специалиста, который заявил: «В Германии в настоящее время около 500 тыс. км воздушных линий высокого напряжения. В ближайшие 5 лет их протяженность возрастет до 4 млн км. Если бы удалось электрические свойства кабельной изоляции улучшить всего на 30 %, то все эти линии мы упрятали бы под землю, что представляет неисчислимыя преимущества в эксплуатационном отношении».

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ

Размеры этой статьи не позволяют подробно остановиться на целом ряде отделов физики, которые настолько расширились, что, оставаясь тесно связанными с основными физическими предпосылками, выросли в самостоятельные отрасли знания. Нередко эти отрасли имеют чрезвычайно большое практическое значение. Достаточно отметить электротехнику, радиотехнику, наконец, теплотехнику и многие другие области, выросшие из физики и переросшие рамки разделов физики. Ведь этими тремя областями знания обслуживается значительная часть современной промышленности.

Несколько особняком стоит чрезвычайно интересная область физики — биофизика, стоящая на границе между физикой и биологией. Эта область знания изучает физические явления, происходящие в живых организмах. В Советском Союзе этими вопросами занимается крупный Московский научно-исследовательский институт биофизики.

Если мы и касаемся вопроса об электромагнитных волнах, которые изучает по преимуществу радиотехника, то лишь потому, что в некоторых областях электрические колебания имеют исключительное значение для выяснения принципиальных физических вопросов.

Герц, около пятидесяти лет тому назад обнаруживший распространение в пространстве электрических колебаний, впервые указал на их электромагнитную природу и

установил основные законы их распространения. Волны Герца имели длину в несколько десятков метров. Позже было доказано, что свет, воспринимаемый нашим глазом, представляет не что иное, как электромагнитные колебания, отличающиеся от герцевских волн лишь длиной волны, которая для световых волн составляет около 0.0005 мм.

С тех пор усилиями ученых всего мира были изучены электромагнитные колебания волн самой разнообразной длины. Электромагнитные колебания с длиной волны от нескольких километров до нескольких десятков метров применяются в радиотелеграфии. Получение их сводится к возбуждению электрических колебаний в системе проводов, расположенных над поверхностью земли (антенны), от которых электромагнитные волны распространяются во все стороны и могут быть восприняты в приемных устройствах. Самые длинные волны применяются сейчас главным образом на крупных радиостанциях для целей государственной радиосвязи.

Для получения этих колебаний применяются высокочастотные электрические машины, а кое-где, преимущественно у нас в Союзе, мощные генераторные радиолампы. В смысле конструирования и практического использования мощных радиоламп наша страна стоит на одном из первых мест благодаря выдающимся работам Нижегородской радиолaborатории, а также — Центральной радиолaborатории в Ленинграде.

Передача на длинных волнах отличается большой устойчивостью, но требует применения мощных и громоздких отправительных устройств. За последние годы внимание ученых всего мира привлекает область более коротких волн (ниже 200 м), поскольку при благоприятных атмосферных условиях они дают возможность наладить связь между чрезвычайно отдаленными точками на земной поверхности, пользуясь совершенно ничтожной мощностью.

Нет сомнений, что этой области электромагнитных колебаний суждено сыграть немаловажную роль: в развитии радиосвязи, особенно в военных условиях, так как, помимо зачительно менее громоздкого оборудования отправительных станций, передача короткими волнами дает большие преимущества благодаря тому, что удается добиться направленности сигналов, т. е. передачи не во все стороны, а в одном направлении.

Над изучением коротких волн работает очень большое количество советских ученых, на этой области вообще сконцентрировано внимание почти всех радиотехников нашей страны. В Ленинграде Физико-технический институт и Центральная радиолaborатория, в Москве Всесоюзный электротехнический институт и Государственный университет, в Харькове Украинский физико-технический институт ведут работы над исследованием еще более коротких волн — до нескольких сантиметров длиной. В области волн длиной около 1 м советские ученые ищут решения вопроса о передаче энергии без проводов, при этих условиях стремятся получить точно направленный пучок радиоволн.

Электромагнитные волны длиной от нескольких десятков метров до нескольких сантиметров представляют собой чрезвычайно удобное орудие для исследования внутреннего строения твердых, а главное — жидких изоляторов. Системы электрических зарядов (молекулы или группы молекул внутри изолятора) могут колебаться с вполне определенной частотой, которая зависит от внутреннего строения вещества. Помещая такое вещество в быстропеременное электрическое поле (колебания с длиной волны в несколько сантиметров), мы можем измерить частоту, с которой колеблются системы зарядов внутри изолятора, а это дает нам ответ на многие вопросы, связанные с его строением.

Подобного рода исследования ведутся как в московских, так и в ленинградских радиолaborаториях.

Пойти дальше в изучении коротких волн было весьма заманчиво, так как, с одной стороны, колебания зарядов в кристаллических диэлектриках лежат в области волн ниже 1 мм, с другой стороны, электромагнитные колебания с длиной волны в 0.1 мм принадлежат уже к инфракрасным волнам, т. е. к колебаниям, испускаемым нагретыми телами, за счет которых происходит передача тепла. Несколько лет упорной работы ленинградских и московских физиков, которые шли совершенно различными путями, привели к тому, что и эта область электромагнитных колебаний была изучена. С помощью этих так называемых ультракоротких волн были получены очень ценные сведения о строении кристаллов.

За этой переходной областью следует область тепловых (инфракрасных) колебаний с длиной волны от 0.1 мм до 0.0008 мм. Далее идет видимая область электромаг-

нитных колебаний, т. е. свет, воспринимаемый нашим глазом, причем свет различного цвета имеет разную длину волны. Расположение цветов в порядке убывания длины волны следующее: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий, фиолетовый. За фиолетовой частью видимой области электромагнитных колебаний следует так называемая ультрафиолетовая область. Эти лучи, не действуя на глаз, действуют на фотографическую пластинку. Свет испускается атомами при изменении движения внешних электронов вокруг ядра.

Детальное изучение состава света, излучаемого атомами, позволяет в мельчайших подробностях установить как строение атома, так и те изменения в его строении, которые сопровождаются излучением света. Эта кропотливая и подчас чрезвычайно трудная работа была с успехом проведена в Ленинградском государственном оптическом институте. Так же, как и между кратчайшими радиоколесаниями и областью тепловых лучей, между ультрафиолетовыми и рентгеновыми лучами существовала неизученная область колебаний.

И здесь честь освоения этого прежде не исследованного участка спектра принадлежит советским ученым. Наблюдения над рентгеновыми лучами от легких элементов, выполненные также в Физическом институте Ленинградского университета, позволяют считать и эту область электромагнитных колебаний полностью изученной.

Далее следуют рентгеновы лучи, длина волны которых уменьшается по мере перехода к все более и более тяжелым элементам. Нам уже пришлось по другому поводу коснуться работ ученых СССР в области рентгеновых лучей. Переходя к еще более коротким волнам, мы встречаем гамма-лучи радия, излучение которых сопровождается разрушением атомного ядра тяжелых элементов. Несколько лет тому назад на этом можно было бы и закончить перечень электромагнитных колебаний, но теперь к ним еще нужно добавить загадочные колебания, которые к нам доходят, по-видимому, из-за пределов земной атмосферы — из звездного пространства.

Изучением этих колебаний, которые названы проникающим излучением, занимается сейчас ряд сотрудников Ленинградского государственного радиового института Академии наук. Надо надеяться, что скоро мы сможем больше сказать о причинах и источниках этого загадочного излучения.

Окинув беглым взглядом необъятную область электромагнитных колебаний, длина волн которых, начиная от длиннейших радиоволн и до проникающего излучения, меняется в число раз, изображаемое единицей с 18 нулями, мы видим на каждом ее участке вклад советских ученых, решающих проблемы научного и прикладного использования этих колебаний. Сотни ученых, крупнейшие институты мирового значения — вот предпосылки для успешного развития советской физики наших дней, все достижения которой направлены в сторону еще большего увеличения возможностей нашего социалистического строительства.

## НОВЫЕ ПРОБЛЕМЫ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В ФИЗИКЕ \*

Составляя планы научно-исследовательской работы, мы говорим, конечно, о будущем, а не об истории прошлого. Технику, являющуюся одним из существеннейших элементов этого плана, надо рассматривать не статически, а динамически. Нужно помнить, что во время осуществления этого плана и сама техника будет меняться. Необходимо поэтому в плане научно-исследовательской работы, как и во всем народнохозяйственном плане, учитывать вероятные пути развития самой науки и техники. Более того, план должен не только предвидеть, но и стимулировать решения этих задач. При этом решения их должны быть приурочены к тем календарным срокам, когда возможно и необходимо будет их использование в социалистическом строительстве.

Позвольте вместо общих рассуждений привести пример. Можно с уверенностью сказать, что высоковольтная передача на 400 тыс. В, которая позволит создать единую энергетическую сеть, охватывающую Советский Союз, вполне осуществима. Здесь нет каких-нибудь принципиально новых сторон, осуществление которых можно

\* Доклад на I Всесоюзной конференции по планированию научно-исследовательских работ, проходившей в Москве в апреле 1931 г. См. в кн.: Первая Всесоюзная конференция по планированию научно-исследовательской работы. Вып. 5. М.; Л., 1931, с. 3—18.