

МОЯ ЖИЗНЬ И РАБОТА*

РЕАЛЬНОЕ УЧИЛИЩЕ

В среднюю школу, реальное училище в г. Ромнах Полтавской губернии, я попал очень рано. Мне не было еще 8 лет, когда в 1888 г. открылся приготовительный класс. За компанию со старшими я отправился на страшный тогда конкурсный экзамен и без труда был принят. С этого началась систематическая учеба. До тех пор мною руководил только интерес к новым фактам, в таком изобилии рассеянным по книжкам, и к приемам счета, ловко придуманным правилам, замепяющим трудную задачу расчета в уме. Я не знал, что эти правила — арифметика; мне они казались каким-то не очень честным способом, с помощью которого можно, не думая, давать правильный ответ. Помню, меня очень удивляло, что школа именно этим механическим правилам сложения, умножения и деления придавала главное значение. Потом, когда мне удавалось разобраться «по существу» в заковыристой задаче, казалось обидным узнать от учителя, что для каждого рода таких задач, с бассейнами, с едущими навстречу путешественниками, с делением наследства, существуют готовые механические шаблоны, дающие правильный ответ без размышлений.

Все преподавание в наше время было формальным: нужно было знать, а не понимать. И все же того вреда, которого можно было ждать, школа не принесла, — ей не удавалось отучить учеников думать. Спасала нас вражда к преподавателям. Учителя — это чиновники, начальство, связанное с полицией. Против них — товарищеская организация учеников. Мы старались разыскивать, читать и обсуждать именно те книги и вопросы, которые преподаватели считали преступными. Наряду со скучными обязательными учебниками, мы добывали нелегальные книжки, слушали рассказы высланных студентов. Вот пример наших отношений к преподавателям. Когда мы сдали последний выпускной экзамен, нас собрал классный наставник, преподаватель математики, и обратился к нам с папутственной речью: «Я знаю, что вы хотите меня убить, так знайте, что со мной всегда ходит Гордей

* Статья опубликована в виде отдельной брошюры: *Иоффе А. Ф.* Моя жизнь и работа: Автобиографический очерк. М.; Л., 1933.

(училищный шпик), и вы попадете на каторгу». Не всех мы ненавидели, иных жалели (если их преследовал директор, папример за пьянство), но никого не любили. Учителя в целом были враждебным лагерем. Среди учеников были их сторонники — вылощенные мальчишки, пижоны, как мы их называли; они оставались вне товарищеской среды. Впрочем, отчетливого, сознательного расщления в школе не было.

Большое влияние на всю мою научную деятельность оказали две идеи, возникшие еще в школьные годы. Одна из них относилась к так называемому мировому, или световому, эфиру. На уроке физики учитель рассказал, что распространение света можно объяснить колебаниями частиц светового эфира, быстро передающимися от частицы к частице и достигающими нашего глаза, вызывая ощущение света. Эти колебания меня очень заинтересовали, и, придя домой, я пытался наглядно представить себе свет лампы и поведение эфира в комнате. Но вдруг мне пришло в голову: как же доходит до нас свет Солнца и отдаленных звезд? Ведь нельзя же себе представить, что в безграничных пространствах Вселенной, где ничего нет, все же остается эфир для передачи нам световых колебаний. А за пределами Вселенной, куда не проникает ни один световой луч? Что же — и там есть эфир, который миллиарды лет ни чем себя не проявляет, но все же существует на случай, если туда попадет свет, так как иначе нам этого света не объяснить.

Мысль, что все мировое пространство заполнено веществом, единственное назначение которого облегчить нам понимание распространения света, если он там пройдет, мне показалась абсурдной. Когда я, вопреки обыкновению не говорить учителям о том, что нас интересует, поставил этот вопрос, то узнал, что этот абсурд есть убеждение физиков. Да, эфир имеется везде, но колебания его возникают лишь там, где есть свет. Можно ли еще по какому-нибудь признаку, кроме света, узнать, что между звездами есть эфир? Нет! Этого достаточно. Меня этот ответ мало удовлетворил. Мне казалось, что в природе свет распространяется па самом деле не через эфир. Нужно придумать какое-то другое объяснение, и я решил это объяснение искать — задание для высшей школы, которую я представлял себе как место научной работы.

Года через два у меня возникла другая идея — о природе запаха. Колебания светового эфира различной ча-

стоы создают различные цветовые ощущения в глазу. Колебания различной частоты струн, натянутых в улитке внутреннего уха, дают ощущение различных звуков. Но ведь разнообразие запахов не меньше, чем разнообразие цветов и звуков. А между тем обоняние объясняют химическим воздействием пахучих газов на нервные окончания в слизистой оболочке носа. Ведь нет же особых нервов для каждого из многочисленных запахов. Нет ли сходства и в механизме запаха и света? Не является ли запах колебательным движением, которое, приводя в колебание (в различной степени) три основных обонятельных нерва, создает ощущение самых разнообразных запахов? Какие это колебания? Лучи света, даже попадая во внутреннюю полость носа, не пахнут. С другой стороны, я прочел в книжке Тиндаля о теплоте, что ничтожнейшая примесь пахучих веществ к воздуху в десятки и сотни раз увеличивает поглощение инфракрасных волн — колебаний более медленных, чем видимый свет. А поглощается газом лишь то, что он сам испускает.

Вот откуда я заключил, что механизм, который создает ощущение запаха, — это инфракрасные колебания, такие же, как световые, но меньшей частоты. Колебания чего? Здесь я снова наталкивался на эфир, в существование которого я не верил. Мне казалось, что, разобравшись в колебаниях запаха, я пойму и колебания света, узнаю, как можно обойтись без мирового эфира.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Из реального училища путь был только в техническую высшую школу. Я выбрал Санкт-Петербургский технологический институт, так как думал, что там легче, чем в горном или путейском, можно заниматься физикой и разобраться в природе запаха. Мне не было 17 лет, но этого не заметили, и я был принят. Через несколько месяцев начались студенческие волнения, забастовки. Профессора оказались такими же врагами, какими были учителя в реальном училище. Теперь я знаю, что некоторые были серьезными учеными, но тогда мне не приходило в голову искать у них совета и помощи в разрешении интересовавшего меня вопроса о запахе. Запах — граница между биологией и физикой. Я читал книги по физике, главным образом курс О. Д. Хвольсона, книги по физио-

логии органов чувств и пытался работать по биологии. В Технологическом институте читался курс микробиологии (это, кажется, относилось к производству пива), и в лаборатории можно было работать, так как других охотников не было. С большим увлечением я приступил к двум научным работам, развел сотни склянок с культурами бактерий. Но тут начались очередные демонстрации и забастовка, и я был исключен из института. К маю исключенные снова были приняты, но культуры покрылись плесенью и высохли. Работа погибла.

В институте мы занимались только в чертежных — чертили и проектировали. Лекций никто не слушал. Других занятий почти не было. Только весной, к началу экзаменов, мы узнали, какие предметы читаются на курсе. Экзамен сдавали по определенной программе, и о технических предметах снова забывали до следующей весны. Иногда только, когда период исключения затягивался с января—февраля (с начала волнений) до осени, приходилось заниматься в сентябре.

Летом — обязательная практика. В 18 лет я в первый раз должен был участвовать в сборке железнодорожного моста на линии Полтава—Ростов. Но инженер, который должен был возглавить строительство, так и не приехал, и мне сразу пришлось вести все работы совершенно самостоятельно. А вопросы были ответственные. Вместо того, чтобы строить на сваях деревянные подмостья, на которых полагалось по проекту собирать мост, я решил использовать ближайшую насыпь и оттуда перекатить готовый мост весом в 200 т по рельсам на свои устои. Малейший просчет, и мост свалился бы в реку. Затем оказалось, что инженер, строивший устои и быки, не знал точных размеров железного моста, и последний не вошел в приготовленные устои; пришлось отрубить часть железных консолей. Все разрешилось благополучно. Немало ночей просидел я над техническими справочниками, чтобы не наделать ошибок. Постройка моста закончилась для меня большим разочарованием. На среднем быке опоры обоих пролетов пришлось поставить так близко друг к другу и так близко к краю подферменного камня, что возникала опасность: опора могла сорвать кромку камня. У меня это было предусмотрено: между опорами я хотел поместить соответственную чугунную болванку. Но тут запротестовал главный инженер. Несмотря на все мои настояния, так и не положили прокладки.

Еще хуже окончилась практика следующего года — постройка новых мастерских на Ижорском заводе. Это был казенный завод Морского ведомства, где эксплуатация рабочих и производол достигали совершенно невероятных размеров. О действительных интересах производства никто не думал. Железные изделия обходились в два раза дороже, чем на частных заводах и частном рынке, но заработная плата была ниже, чем где-либо. Годами существовала дикая система: очень высокие расценки сдельной работы при очень низкой зарплате. Сколькo бы ни выполнить, оплачивалось не больше 20 % сверх зарплаты. Поэтому не было смысла работать больше трех дней в неделю — остальное время уходило на ремонт машин и почику зубчатых колес. Каждый приезд начальства сопровождался ухудшением условий труда.

Сборка мастерских, изготовленных Путиловским заводом, продвигалась быстро, значительно опережая установленные сроки, при меньшем, чем предполагалось, числе рабочих. Поэтому завод не вмешивался во внутренние отношения и организацию работы и даже терпел более высокие ставки рабочим. Но однажды мы столкнулись на «принципиальном» вопросе рабочей политики. Из-за праздников работы были приостановлены на неделю, вопреки моему протесту. Я потребовал, чтобы рабочим на это время были выданы хотя бы авансы, так как знал, что многим без этого не прожить. Несмотря на то что я это поставил условием продолжения работ, администрация не могла отойти от своих «принципов». Пришлось оставить работу. Когда на следующий год мне было предложено взять на себя сборку и установку всех железных мостов на Сибирской ж. д., я поставил условием, чтобы администрация не вмешивалась в организацию работы; на это завод не пошел.

Столкновение с «принципами» рабочей политики русских заводов и явная безнадежность преодолеть их, оставаясь на службе заводским инженером, окончательно определили мое решение отказаться от инженерной деятельности. Заниматься паукой в высшей школе было невозможно. Попытки произвести исследование природы запаха в домашней обстановке при помощи коробки от какао, каменной соли и сургуча показали, что в этой обстановке убедительных результатов получить нельзя и что ставить опыт — это особое искусство. Единственное, что оставалось — учиться эксперименту и именно в той

области, где он стоит выше всего, — в физике. Но заниматься научной работой в России тех лет, как показал опыт с заплесневевшими бактериями, было безнадежно. По отзывам петербургских физиков, лучшим физиком-экспериментатором был Рентген, профессор Мюнхенского университета. К нему я и поехал. У меня хватило средств на полгода скромной жизни.

МЮНХЕНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

В Мюнхен я приехал перед самыми рождественскими каникулами. На другое же утро я отправился в университет разыскивать Рентгена и внезапно столкнулся с ним. Прежде всего я ощутил, что школьных знаний немецкого языка, на которые я рассчитывал, совершенно недостаточно. Больше того, я даже не мог объяснить, чего я хочу. 10-дневные каникулы были посвящены изучению немецкого языка. С утра до ночи я переводил немецкий учебник физики. Итак, первое препятствие было устранено. Мне было разрешено одному работать в лаборатории. За месяц я проделал полный цикл (60) работ по физике и затем провел исследование с электрическими волнами. Один случай сыграл здесь некоторую роль. Работая по спектральному анализу, я получил одно значение, явно не укладывавшееся в общую закономерность. Рентген это сразу заметил и хотел показать, как следует произвести это измерение с наибольшей точностью. Но его результат и по величине и по точности совпал с моим. Оказалось, что в русском издании таблиц, которым я пользовался, была ошибка. Рентген отметил мое уважение к опытному факту и точности измерения — наиболее ценные, с его точки зрения, качества будущего физика.

Весной 1903 г. П. Кюри опубликовал измерения, показывающие, что лучи радия выделяют значительную энергию. Рентген предложил мне проверить этот результат. Мне удалось показать, что тот конец запаянной стеклянной трубки, куда пересыпаются находящиеся в трубке крупинки препарата радия, нагревается. Затем я уже сам предложил метод и провел точный количественный учет этого тепла и придумал целую серию возможных объяснений источника энергии радия. Одно из этих объяснений особенно заинтересовало Рентгена, и он предложил вместе с ним произвести соответствующее ис-

следование. Магнитные свойства радия не были известны. Среди громадного многообразия веществ есть три элемента, в миллионы раз более магнитных, чем все остальные. Могло бы оказаться, что неисследованный радий еще во много раз более магнитен и нагревается оттого, что находится в непостоянном земном магнитном поле. Это предположение не оправдалось, но исследование выявило другие интересные факты и затянулось на долгий срок. Отъезд пришлось отложить. Поскольку средства мои иссякли, то университет оказал мне некоторую денежную поддержку.

Вопрос о запахе был мною опять отложен, так как Рентген предложил мне изучить причины электризации кристаллов кварца при сжатии и растяжении. Для этого он хотел воспользоваться так называемым упругим последствием. Явление это заключается в том, что тело, растягиваемое или изгибаемое какой-нибудь нагрузкой, не сразу принимает свой окончательный вид, а лишь постепенно, с течением времени. После разгрузки оно так же медленно принимает свою прежнюю форму. Разобравшись в этом вопросе, я, однако, пришел к убеждению, что последствие может существовать лишь в беспорядочно построенных телах, а в кристалле кварца его быть не должно. Те явления, которые наблюдаются в кварце, — это не последствие; они вызваны побочными причинами, которые можно устранить. Это утверждение я действительно доказал на опыте. Главной причиной, вызывавшей замедление и запаздывание, были электрические заряды, скопляющиеся внутри кварца при его изгибе. Мне удалось значительно ускорить отвод этих зарядов из кварца, подвергая его действию лучей радия, рентгеновых лучей и ультрафиолетового света.

Отсюда я пришел к изучению влияния всех этих лучей на прохождение электрического тока через разные кристаллы. С большим увлечением я сообщил о своих новых по тому времени результатах Рентгену, находившемуся в Италии. В ответ я получил очень сухую открытку с предложением бросить сенсационные открытия и заняться солидной работой по упругому последствию.

Для личности Рентгена очень характерно, что, как только открытые им лучи привлекли широкое внимание, как только о них стали писать не только в серьезных научных журналах, но и в газетных статьях, он перестал ими заниматься и хотел заставить меня прекратить изу-

чение пового явления, потому что оно связано с его лучами и радием. Кстати, все мои исследования над энергией, выделяемой радием, не были напечатаны.

Я предложил Рентгену отказаться от публикации этих опытов, но не изучать их я не мог. Больше двух недель он со мною не разговаривал, а я в это время, изучая каменную соль, совершенно запутался. Электрическая проводимость после освещения рентгеновыми лучами делалась то во много раз больше, то меньше без всяких видимых оснований. Мне приходило в голову, что причиной этого здесь может оказаться дневной свет, но выяснилось, что соль при освещении не меняет своих свойств. И вот однажды, изучая образец, освещенный рентгеновыми лучами, я заметил, что уменьшение тока всегда связано с прохождением облака; яркий солнечный свет снова увеличивал ток. Оказалось, что свет сам по себе не действует на соль, но после действия рентгеновых лучей соль становится чрезвычайно светочувствительной: ток при освещении может увеличиваться в миллион раз по сравнению с током в неосвещенном образце. Когда Рентген увидел, что обычный свет, даже свет спички, резко меняет электрические свойства соли, он настолько этим заинтересовался, что предложил присоединиться к работе.

С тех пор, с 1904 г., и до самой смерти Рентгена (1923 г.) продолжалась наша совместная работа над электрическими свойствами кристаллов. До 1906 г. мы работали вместе в Мюнхене, затем до самого начала войны я каждое лето проводил в его лаборатории. Два раза, в 1908 и 1911 гг., мы приступали к написанию статьи для печати. Но я излагал результаты на фоне тех представлений, которые у меня выработались в ходе работы. Рентген же хотел объективного изложения, которое бы чисто формально описывало все полученные результаты, не высказывая никаких гипотез об их причинах и не пытаясь их объяснить. Чтобы убедить его в ошибочности его метода, я изложил весь огромный материал в семи главах и приложил к ним семь разгадок, занимавших не более полустраницы каждая, сразу освещающих смысл бесчисленного нагромождения фактов данной главы. Три дня Рентген вместе со мной проверял, действительно ли все факты каждой главы объясняются разгадкой. Казалось, что он убедился и согласился, чтобы я написал статью по-своему. Но потом он решил сам

написать ту же работу привычным ему методом. Описание небольшой части опытов с каменной солью, подготовленное им, появилось в 1921 г. в объеме 200 страниц.

Весь громадный опытный материал — 16 тетрадей наблюдений и свыше 300 страниц примечаний — хранился во время войны у него. Шовинизм, так пышно расцветший во время империалистической войны, не позволял и думать о публикации нашей совместной работы. На случай своей смерти до окончания войны он распорядился сжечь все материалы по этой работе. В тот же конверт с надписью о сожжении в случае смерти Рентген вложил материалы более поздних исследований (1921—1922 гг.), когда мы вместе просматривали материалы.

В 1923 г. Рентген неожиданно умер, и все эти материалы были сожжены. К счастью, основные извлечения наших работ незадолго до этого были мною уже посланы в печать, и Рентген читал корректуру. Благодаря расхождению в методах изложения, моих и Рентгена, работа, написанная в 1908 г., появилась в печати (в извлечениях) через 15 лет — в 1923 г. Все остальные материалы погибли, и о них не стоит писать.

Мне, однако, хотелось бы упомянуть о нескольких фактах, освещающих личность Рентгена — человека замкнутого, необычайно строгого и к другим и к себе. Это был блестящий экспериментатор. Три коротенькие статьи, вышедшие в течение года, в которых он изложил свойства открытых им лучей, дали исчерпывающее их описание. Многие сотни работ, посвященных рентгеновым лучам на протяжении 15 лет, ничего к ним не прибавили.

Когда Вильгельм II при осмотре Германского музея естествознания и техники в качестве специалиста стал объяснять Рентгену отдел артиллерии, Рентген прервал его, сказав, что в его объяснениях нет ничего, кроме общих мест, всем известных. Вильгельм был оскорблен до глубины души.

Рентген был богат. Одна Нобелевская премия, которую он получил первым, дала ему 200 000 крон. Все его деньги были в голландских бумагах. Когда в начале войны германское правительство обратилось с предложением передать государству валюту, Рентген отдал все без изъятия. В 1921 г., когда я его видел, он не мог чаще раза в неделю покупать мясо. В год острого недостатка продовольствия, и особенно жиров, его друзья из Голландии

присылали ему большие количества масла. Он все отдавал в общий фонд и дошел до такого истощения, что врачам пришлось перевести его на больничный паек, чтобы спасти от голодной смерти.

Весь пропитанный чувством долга, но стоящий в стороне от жизни, сторонящийся новизны с ее незаконченными очертаниями, Рентген был одним из последних представителей ученых-одиночек, десятилетиями вынашивающих и отделяющих свои труды. Это была крупная личность, но ей не было места в современности. Кратковременная Советская власть в Баварии гарантировала ему полную безопасность и уважение, но нельзя было бы надеяться привлечь его на свою сторону.

ПЕТЕРБУРГ

Теперь город с таким названием имеется лишь во Флориде в США, а раньше так назывался Ленинград. В 1906 г., в разгар столыпинской контрреволюции, я возвратился в этот город. Нелегальные массовки, революционные ячейки в войсках, студенческие забастовки — такова была атмосфера, в которую я попал по возвращении. Отказавшись от профессуры в Мюнхене, я был зачислен лаборантом по физике в Политехнический институт в Сосновке. Это был единственный живой центр научно-технической мысли. Виктор Львович Кирпичев объединял науку с техникой, понимаемой в широком плане. Тимошенко, Миткевич, Рерих, Бахметьев удачно осуществляли это объединение. Серьезная научная работа велась по химии (школа Курнакова, Кистяковского), по геологии (Левинсон-Лессинг). С другой стороны, технические науки сочетались с экономическими и историческими (научная школа статистики А. А. Чупрова, экономическая география Дена). В институте искали новых педагогических методов, велась практическая проработка теории; ставились специальные научные работы студентов. На фоне застывших в традиционных формах других технических школ и русских университетов здесь, в Политехническом институте, чувствовались зачатки нового, развернувшегося полностью только при Советской власти.

С 1906 г. и до настоящего времени я связан с Политехническим институтом. Войдя в организованную уже группу физиков, я встретил со стороны заведующего ка-

федрой физики проф. В. В. Скобельцына и со стороны всего состава самую определенную поддержку всех моих научных начинаний. Вскоре почти все присоединились к решению поставленных мною задач. Потом удалось привлечь и студентов. Большую роль сыграл приезд в С.-Петербург Эренфеста — теперь голландского профессора и большого друга Советского Союза. Вместе с ним мы начали борьбу с застоявшимися нравами Петербургского университета, за теснимую чиновниками Министерства просвещения московскую группу П. Н. Лебедева. Главной ареной этой борьбы было Физическое общество, фактическое руководство которым вскоре перешло к нам. Во время войны удалось удержать физику от шовинистического угара, охватившего университет. Кстати, профессором университета я не был избран, как прошедший немецкую школу и сторонник германской пауки. Большую борьбу пришлось вести с допотопной системой магистерских экзаменов, которые практически почти на два десятилетия лишили всех способных физиков возможности заниматься наукой. Я уже сдавал экзамены по новым правилам, не требующим хождения на дом к каждому из многочисленных экзаменаторов и сдачи целого десятка отдельных экзаменов.

Защитив, как полагалось, две диссертации, я в дополнение к иностранному званию доктора философии получил здесь звание доктора физики, а с ним и профессию в Политехническом институте. Преподавание физики в большинстве высших школ начиналось с изучения в течение полугода измерительных приборов — вольтметра, делительного круга и т. д. Этого достаточно, чтобы навсегда отбить всякий интерес к физике. Я же попытался рассказать студентам сразу то, чем действительно живет современная физика, начав с общих представлений о строении атома, о молекулярных силах, о кристаллических решетках, и оказалось, что эта живая наглядная физика воспринимается несколько не труднее, чем формальные законы и правила измерений. В Горном институте я читал термодинамику. В университете читал курс лучистой энергии. Одно время читал на курсах Лесгафта, где оставался некоторое время и после смерти основателя этих курсов.

Из 10—12 учеников, работавших как в университете, так и в Политехническом институте, был в 1916 г. образован семинар, который впоследствии и составил ядро Физико-технического института. В нем участвовали

Н. П. Семенов, Я. П. Френкель, П. Л. Капица, П. П. Лукирский, Н. И. Добронравов, Я. Г. Дорфман — теперь крупнейшие физики с мировыми именами. Остальные, если и не достигли по разным причинам такой научной высоты, то все же оставили заметный след в науке. Семинар был первым опытом коллективной проработки одной большой темы. Этот опыт мы положили в основу работы Физико-технического института.

Научная работа за это время шла по двум направлениям. С одной стороны, мы продолжали и развивали работы по прохождению электрического тока через кристаллы, начатые в Мюнхене. Все материалы по этим работам пересылались Рентгену и были сожжены после его смерти. Другой ряд работ исходил из возникшего еще в средней школе недоверия к механическому эфиру. В конце 1905 г. появилась статья Эйнштейна, в которой он приводил целый ряд фактов, показывающих, что свет распространяется в виде отдельных световых квантов через пустое пространство. Этот взгляд, так согласующийся с моими представлениями, заставил меня подумать об его экспериментальной проверке. В 1907 г. Ладенбург опубликовал работы по измерению фотоэффекта, которые я как раз собирался произвести. Ладенбург пришел к совершенно иным результатам, но, проанализировав его данные, я убедился, что они гораздо лучше согласуются с теорией Эйнштейна, чем с теорией автора. Для проверки теории световых квант требовалась иная постановка опыта, к которой я и приступил. Опыты оказались весьма трудными и заняли четыре года упорного труда. За это время я опубликовал свою теорию световых квант; такие же точно опыты были одновременно проведены и опубликованы в Америке Милликеном. Главное мое внимание было направлено на прочное установление атомного строения электричества и света, на разъяснение всех накопившихся в литературе противоречий. Позднее я еще раз вернулся к вопросу о свете.

РЕВОЛЮЦИЯ

Значение Октябрьской революции я не сразу понял. Взятие власти большевиками я сначала рассматривал как один из эпизодов революции, определяемый стремлением кончить войну, и думал, что решающая роль будет при-

надлежать крестьянству, снабженному оружием в результате демобилизации. Однако моя поездка летом в Крым, где под покровительством германской оккупационной армии держалась буржуазная власть и где я наблюдал звериную ненависть крымских либералов к пролетариату, покушение на Ленина в Москве окончательно определили мою позицию. Для меня уже не было сомнений: у пролетариата — светлое будущее, у буржуазии — жалкое догнивающее прошлое.

Возвратившись в сентябре 1918 г. в Петроград, я твердо решил навсегда связать свою судьбу со страной Советов и внести свою долю в будущее строительство. Уже через несколько дней я принял предложение организовать вместе с М. И. Неменовым институт. В научном отношении нас объединяла общая тема — рентгеновы лучи — тогда самое мощное орудие новой физики и новый метод в медицине; политически — мы оба твердо стояли на платформе Советской власти. 24 сентября был утвержден персональный состав нового института — сначала физико-технического отдела Государственного рентгенологического и радиологического института, который затем при разделении получил название Физико-технического рентгеновского института.

Основной установкой нового института была такая организация физического исследования, которая могла бы сделать физику научной базой будущей социалистической техники. Хотя в это время внимание было устремлено на фронты, но все же Советская власть всемерно содействовала организации науки. Представители Наркомпроса — т. Гринберг, а потом Кристи — сыграли здесь большую положительную роль. К указанной основной цели мы пошли следующими путями. Сначала надо было расширить научную базу. К группе моих учеников присоединились другие физики Петрограда и Москвы и ряд ученых-техников. С самого начала к работе был привлечен А. А. Чернышев, к которому вскоре перешло руководство технической частью института. С тех пор наша совместная работа не прекращалась. Затем после организации института в Петроград возвратились Френкель и Семенов. Последний со своей организаторской способностью и энергией помог развернуть институт до его нынешних размеров. Новую установку — физика как основа будущей техники — я постарался обеспечить не только в Петрограде. После небольшой конференции в Москве в декабре 1918 г., в ян-

варе 1919 г. в Петрограде собрался довольно многочисленный съезд физиков (свыше 100 человек со всей страны), который принял нашу установку и учредил ассоциацию, создавшую с тех пор уже семь съездов. На последнем съезде в Одессе было уже свыше 1000 членов. Основная линия на тесную связь физики с техникой с тех пор не менялась.

Другой задачей было обеспечение института и советской физики кадрами. С этой целью осенью 1919 г. при Политехническом институте был организован физико-механический факультет, в котором физика сочеталась с основами техники. Почва для такого факультета была подготовлена Политехническим институтом. Очень рано, иногда уже со 2-го курса, студентов привлекали к научной работе, и ко времени окончания втуза почти все имели один или несколько печатных трудов. Физико-механический факультет в насмешку называли детским домом, но опыт себя оправдал. Для научной работы отбирали только самых способных студентов, которым удавалось вести исследования, не удлинняя срока своего пребывания во втузе.

Первые годы при каждом сокращении штатов факультет пытались закрыть, мотивируя это тем, что раньше обходились без него, значит, и теперь в нем нет большой нужды. Требовалось вмешательство центральной власти, чтобы сохранить факультет. Почти десять лет я был деканом факультета, но по мере развертывания масштабов научной работы все больше отходил от оперативного руководства. Меня заменяли М. В. Кирпичев и Н. Н. Семенов. Последний положил начало значительному количественному росту преподавательского состава и студентов. Сейчас благодаря энергии М. С. Лазуркина факультет стал самостоятельным втузом с 1000 студентами. Связь с исследовательским институтом и теперь осталась столь же тесной. Это — основная база кадров не только нашего института, но и весьма многих отраслевых институтов и заводских лабораторий.

В 1921—1922 гг. я впервые после войны поехал за границу для закупки оборудования. Пришлось также восстанавливать прерванные войной связи с германскими учеными и ликвидировать научную изоляцию Советской России. Курьезно, что первый германский физик Ленард, институт которого я хотел осмотреть (это был совершенно новый радиологический институт в Гейдельберге),

оказался отъявленным шовинистом и не принял меня, поручив передать, что не желает разговаривать с врагами своего отечества. Оказалось, что во время войны он ездил по стране и призывал к уничтожению не только России, но и русского народа.

Оказанный мне «прием» сделался широко известен. Многие американские ученые, приезжая в Германию, нарочно являлись к Ленарду, чтобы получить ту же отповедь. Впрочем, случай этот вовсе не был типичным; даже фашистски настроенные ученые, а их немало, поддерживают научную связь с советскими учеными. Германские научные журналы самым гостеприимным образом предоставили свои страницы работам наших ученых, несмотря на то что последние годы мы заполняли больше четверти всего их объема (только с 1932 г. мы приступили к изданию собственного журнала на иностранном языке). Путем взаимного обмена лекциями и докладами, участия в съездах и конференциях мы теперь установили прочную связь с наукой передовых капиталистических стран, и советская физика стоит с ними на одном уровне.

Начиная с 1921 г. я почти ежегодно бывал за границей с целью знакомства с заграничным опытом, выяснения важнейших научных вопросов, проведения дискуссий, консультаций и т. д. В крупнейших европейских университетах: в Париже, Берлине, Геттингене, Лейдене, Кембридже, в 15 американских университетах и во всех крупных заводских лабораториях я читал доклады и лекции. В Калифорнийском университете и Бостонском технологическом институте я читал систематические курсы. Благодаря этому я мог на деле познакомиться с организацией научной работы и преподавания в университетах и промышленных предприятиях Запада и Америки. В крупнейших электротехнических заводских лабораториях Германии и Америки я руководил техническими исследованиями и давал консультации. Часть институтского оборудования и около 20 заграничных командировок сотрудников института были оплачены за этот счет. Много раз я принимал участие в международных конгрессах по физике, энергетике и истории науки как член советской делегации.

С другой стороны, советские физические съезды устраивались с участием крупнейших иностранных ученых. Мы обеспечивали возможность советским физикам полнее использовать присутствие иностранцев. Одновре-

меньше знакомили иностранцев с размахом нашей научной работы и нашего строительства. VI съезд проходил на особом пароходе, идущем от Нижнего Новгорода до Сталинграда, VII съезд — от Одессы до Батуми и обратно. Систематическое посещение наших институтов иностранными учеными и работа в них также вошли в норму.

В 1923 г. была наконец закончена постройка нового здания института; до тех пор мы ютились в физической лаборатории Политехнического института. К этому времени мы уже считали выполненной первую стадию своего развития — создание достаточно мощного ядра физиков — и перешли к разворачиванию применений физики в промышленности, присоединив к институту Наркомпроса лабораторию ВСНХ.

Вскоре мы убедились, что для тесной связи науки с производством не хватало важного звена — заводской лаборатории. В 1925 г. было проведено обследование ленинградских заводов и составлен план оборудования их 143 лабораториями. Не без трений этот план в основном был проведен в жизнь, а за ним последовало проведение такой же работы по всему Союзу.

С укреплением научного коллектива в Ленинграде стал на очередь вопрос о кадрах других промышленных центров страны. Насколько вначале необходима была концентрация всех сил в одном центре, настолько же вредным было бы дальнейшее продолжение такой политики. В отдельных республиках и областях должны быть созданы самостоятельные центры научной работы, связанные с задачами местной промышленности. Нужен не один центральный институт и его местные отделы, а система институтов, специализированных в определенном направлении, и в этом направлении основных для Союза. Мы и приступили к развертыванию такой сети, организовав физико-технические институты в Харькове и Томске. В ближайшее время предстоит организовать такие институты в Свердловске, Ташкенте, Ростове. Съезды физиков также служили этой цели. VI съезд 1928 г. собрался в Москве; затем участники его посетили Нижний Новгород, Казань, Саратов, Тифлис. К сожалению, необходимость создания по всей стране центров научно-технической работы не была подкреплена соответствующим финансированием этих центров, и решения съездов не были проведены в жизнь. Еще хуже обстоит дело с Москвой, которая и до настоя-

щего времени не имеет достойного ее физического института.

Первые же годы пятилетки показали, что, несмотря на быстрый количественный и качественный рост физических исследований и на ясную установку связи физики с техникой, советская физика стала отставать от предъявляемых ей запросов. Явно необходимы были более действенные новые пути. Я вижу их в объединении всей советской физики в единый организм с общим рабочим планом, составляющим часть всего народнохозяйственного плана. Плановость в науке, как и плановость в хозяйстве, — путь к социализму. Далее, я считаю, что темы для своих изысканий наша наука должна черпать не только из заграничной литературы, но и из изучения производственных процессов, которые должны обогатить физику новым содержанием. Наконец, нужно вовлечь в общий план научной работы широко развернутое рабочее изобретательство, а рабочий-изобретатель должен стать основным ядром научных кадров. Знания должны приобретаться параллельно с разработкой изобретений, с исследовательской работой. Самое ценное в научном работнике — это его способность к научному творчеству и твердая воля к преодолению всех встречающихся препятствий. Наибольшее число таких нужных для науки и социально ценных работников могут выделить рабочие-изобретатели.

НАУЧНАЯ РАБОТА

Переходя к описанию моей научной работы, я прежде всего должен указать, что ее никак нельзя рассматривать как чисто личное занятие. Как содержание ее, так и методы работы определялись историческими условиями и социальными заданиями эпохи строительства социализма, который все мы имеем счастье строить. Если вместо школы в несколько учеников я создал большой исследовательский институт, если я ставил и разрешал вопросы серьезного теоретического и практического значения, то это, конечно, не моя личная заслуга. Подготовленный до некоторой степени условиями, которые я пытался изложить вначале, я попал в русло революции, и потом уж только активное участие в величайшей в истории человечества задаче построения социализма сделало меня сознательным ее работником. Чем бы я занимался и как рабо-

тал бы в иных исторических условиях, вряд ли стоит гадать. Во всяком случае, не тем и не так, как сейчас. Я хочу сказать этим, что одни биографические сведения дореволюционной эпохи никак не могут объяснить всей моей научной работы.

Я должен заранее указать и еще на одно обстоятельство, о котором я уже говорил. Я не только вел свою индивидуальную работу, но и руководил научной работой быстро растущего института. Первые 7—8 лет я фактически участвовал в постановке и разработке почти всех работ института, и только постепенно начали выделяться в пределах института группы, самостоятельно идущие вперед, вплоть до образования самостоятельных институтов (химико-физический, электрофизический, Украинский, Томский, Уральский). С другой стороны, и мою научную работу я проводил не один, а вместе с коллективом в 10—15 человек. Поэтому, если бы я даже захотел со всей добросовестностью выделить долю моего личного участия в научной работе, это было бы неосуществимо и бесцельно. Выделенная из общей коллективной работы и оторванная от своих социальных корней живая работа превратилась бы в бессодержательный перечень, вроде загадки, где по первому или последнему слогу каждой строки надо угадать стихотворение. Такой задачи я себе и не ставлю. Я хочу изложить содержание и развитие четырех основных проблем, разрешению которых была посвящена главная часть моей научной деятельности; при этом я не выделяю своей личной доли в этой работе.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ ТЕЛ (ПРОБЛЕМА ПЕРВАЯ)

Первым фактом, с которым я столкнулся в этой области, было явление упругого последействия. Оно заключается в том, что результат воздействия данной силы на тело сказывается не весь сразу. Изгиб, кручение, растяжение продолжают, постепенно ослабевая, еще долгое время под действием постоянной силы. Точные приборы могут отметить медленный ход даже через несколько месяцев. Когда сила перестает действовать, тело не сразу принимает прежний вид. От каждого воздействия остается, таким образом, след, который можно заметить долгое время спустя после исчезновения вызвавшей его причины.

Имеет место нечто вроде памяти в теле о том, что оно испытало в прошлом. Рентген предложил мне воспользоваться этим явлением, чтобы при помощи него выяснить, что именно вызывает электризацию кварца при сжатии: самая ли сила, на него действующая, или вызванное этой силой сжатие кристалла.

Если положить на кварцевый кристалл груз, то сила с течением времени не будет мешаться, пока на кристалле лежит тот же неизменный груз, а сжатие, благодаря упругому последствию, может продолжаться еще долгое время. Если и электризация при этом будет усиливаться, значит, она зависит от сжатия; если же она останется неизменной, значит, она определяется не сжатием, а самой силой давления груза.

Взявшись за эту задачу, я из средства сделал цель исследования. Меня заинтересовала природа упругого последствия. Постепенное изменение размера тела было бы понятно в том случае, если бы в нем (теле) происходили какие-нибудь сложные процессы. Но какие процессы могут происходить при сжатии кристалла? По тем представлениям, которые мы себе составили о кристаллах, при сжатии происходит только сближение частиц, которое должно бы закончиться очень быстро, в ничтожные доли секунды (со скоростью распространения звука в кварце). Одно из двух: либо наше представление о кристалле неверно, либо в нем не должно быть последствия. Действительно, последствие всегда наблюдали на телах, состоящих из массы мелких кристаллов, или на неупорядоченных смесях, где сжатие производит сложные перегруппировки. Никто не изучал кристаллов под этим углом зрения; а это необходимо было сделать, чтобы проверить правильность моего заключения. Вот почему я и взялся за изучение упругого последствия кристаллического кварца.

Я уже упоминал, что последствие, которое я сначала наблюдал при изгибе кварцевых пластинок, не было истинным последствием, а результатом тех электрических зарядов, которые образовывались внутри пластинки при изгибе. Избавившись от зарядов, я избавился и от всякого измеримого упругого последствия.

Эта работа привела меня к изучению электрических свойств кристаллов, но далеко не все было ясно и в области механических свойств. Если первое противоречие разъяснилось и упругое последствие можно было счи-

тать результатом несовершенств в строении большинства реальных твердых материалов нашей техники, то остался ряд других непонятных свойств — прежде всего длительная пластическая деформация, которая в той или иной степени наблюдается почти во всех телах, и в частности в кристаллах. Мне кажется характерным для тогдашнего мюнхенского периода моей работы, что, выяснив мучившее меня логическое противоречие, я удовлетворился фактом, что в совершенных кристаллах упругого последствия нет, и не заинтересовался тем, как оно протекает в обычных материалах, которыми пользуется вся современная техника. Точно так же не я, а другие физики применили это свойство кристаллического кварца к практическим задачам (пружины Бриллюэна для точных измерений, стабилизация и стандартизация радиоволн пьезокварцем, ультракороткие звуковые генераторы Ланжевена*). И никто до сих пор еще не разобрался в упругом последствии технических материалов и его влиянии на перераспределение напряжений в сооружениях.

Только в 1918 г. я вернулся к вопросу о механических свойствах кристаллов. К этому времени теория Борна дала уже конкретную картину тех сил, которые связывают частицы кристалла в одну цельную, правильно построенную решетку, а открытие Лауэ дало новый путь к изучению этих решеток. Суть этого открытия заключается в том, что, благодаря правильному расположению атомов в решетке, имеется целый ряд плоскостей, представляющих собой как бы сетку из атомов. Каждый такой усеянный атомами слой, подобно зеркалу, отражает пучок рентгеновых лучей, отбрасывая их на светящийся под их воздействием экран или на фотографическую пластинку. Такой отраженный зайчик позволяет установить сетку атомов, от которой он отброшен. По длине волны отраженных рентгеновых лучей можно, далее, судить о расстояниях между отдельными параллельными атомными слоями и, таким образом, составить себе полную картину распределения атомов в кристалле.

Это открытие Лауэ как нельзя более пригодно для выяснения того, что на самом деле происходит в теле при

* Ультразвуковые генераторы разрабатывались совместно К. В. Шилловским и П. Ланжевеном. См.: *Ключин И. И., Шошков Е. Н. Константин Васильевич Шилловский. Л.: Наука, 1984.*

любых воздействиях на него. С другой стороны, реальная возможность для использования этого открытия — рентгенова установка. Моя работа с рентгеновыми лучами, совместно с группой сотрудников, была налажена с организацией физико-технического отдела Рентгеновского института. Это и была первая моя работа в новом институте.

Однако прежде чем изложить саму работу, мне хотелось бы на примере открытия Лауэ, протекавшего почти на моих глазах, отметить типичные черты научных открытий и роль того автора, с именем которого открытие остается связанным в учебниках истории как проявление его личности.

На теоретическом семинаре проф. Зоммерфельда в Мюнхене докладывалась работа Эвальда об оптических свойствах правильно расположенной решетки из электронов. В лаборатории Рентгена в это же время производились опыты и вычисления для определения длины волны рентгеновых лучей, показавшие, что эта длина порядка миллиардных долей сантиметра. И та и другая работа обсуждалась на ежедневных беседах за чашкой кофе — традиция, которую мы установили еще за несколько лет до этого. И вот один из участников этих бесед — Лауэ — высказал мысль, что если длина волны рентгеновых лучей только немногим менее, чем расстояния между атомами в кристаллической решетке, то кристалл должен представлять для рентгеновых лучей то же самое, чем для обычного света является так называемая дифракционная решетка (пластинка с густо, на одинаковых расстояниях нанесенными штрихами или царапинами, служащая для спектрального разложения света).

Другой участник беседы (покойный Эрнст Вагнер), наоборот, считал это утверждение фантастическим, так как в кристалле ряды атомов расположены хотя и на равных расстояниях, но не в одном направлении, параллельно друг другу, как в оптической решетке, а по всем направлениям, взаимно перекрещиваясь. Лауэ все же утверждал, что какая-то правильность должна сказаться. Для решения этого спора решено было привлечь работавшего у Рентгена с рентгеновыми лучами Фридриха. Он должен был поставить на пути рентгеновых лучей кристалл и посмотреть, не отразят ли его атомные слои лучей на помещенную над кристаллом фотографическую пластинку.

Несколько дней непрерывного действия рентгеновых лучей не дали никакого результата, пока работавший в той же комнате Книппинг не решил поставить фотографическую пластинку на пути лучей, прошедших сквозь кристалл, вместо того, чтобы помещать ее сверху. По-видимому, он стремился привести опыт к скорейшему окончанию, так как на пластинке должен был появиться во всяком случае след от рентгеновых лучей. Оказалось, однако, что вокруг этого следа от лучей, прошедших сквозь кристалл, появились еще правильно расположенные пятна-зайчики, отраженные от определенных атомных слоев внутри кристалла. Впрочем, толкование Лауэ было сложнее. Такой простой смысл ему придали английский физик Брэгг и русский кристаллограф Ю. Вульф — энергичный работник нашего института.

Мне кажется, на этом примере хорошо видно, как подготавливается научное открытие, какую роль играет способность синтезировать разнородные факты, связь между теорией и опытом и, наконец, какова роль случайной удачи в ускорении результата. Работа была опубликована тремя авторами — Лауэ, Фридрихом и Книппингом. Все элементы открытия имелись уже налицо. Нельзя сомневаться, что открытие Лауэ было бы сделано им и без Фридриха и Книппинга, если не в 1912, то уж во всяком случае в 1913 г.

Теперь я возвращаюсь к своему применению метода Лауэ для изучения механизма деформации в кристаллах. Вместо фотографической пластинки я воспользовался экраном, светящимся под действием рентгеновых лучей. После 15—20 мин пребывания в совершенно темной комнате глаз прекрасно различает отдельные светящиеся пятна, получающиеся от отражения атомными слоями внутри кристалла. Если атомы этих слоев переместятся, повернутся, то и пятно сместится. Наблюдая таким путем, что происходит с атомами кристалла, подвергаемого все увеличивающейся нагрузке, мы заметили, что как только нагрузка превзойдет определенный предел, пятна раздваиваются, потом появляются рядом третьи, четвертые, десятые, сотые и т. д.

Это значило, что один кристалл с одинаково расположенными атомными слоями распадается на два, три, сто отдельных кристалликов, несколько повернутых относительно друг друга, но составляющих все же одно прочное целое. Одно из пятен при этом оставалось неизменным. Это

показывало, что все перемещения и повороты происходят вдоль определенной плоскости, которая не меняется и которая одинакова во всех кристаллах. Эти наблюдения и это толкование изменений, происходящих в рентгеновой картине, создаваемой кристаллом, были затем подтверждены многими авторами и развились в целую науку, изучающую процессы холодной обработки металлов и металлических кристаллов.

Изучая далее сдвиги отдельных кристалликов, мы обнаружили их необычайную правильность. Под действием данной нагрузки отдельные сдвиги происходят один за другим, через одинаковые промежутки времени и на совершенно одинаковые перемещения. Если в лаборатории нет шума, можно отчетливо слышать эти сдвиги, подобные тиканию часов. То, что при грубом наблюдении представляется как медленное, непрерывное течение материала, в действительности состоит из большого числа отдельных сдвигов и поворотов внутри отдельных кристаллов, из которых состоит материал. При помощи рентгеновых лучей можно было отчетливо заметить, при какой нагрузке начинается расслоение пятен, т. е. сдвиги и повороты частей кристалла. Оказалось, что эта нагрузка тем меньше, чем выше температура, а при температуре, близкой к плавлению кристалла, уже самые ничтожные силы вызывают сдвиги в кристалле. Можно было утверждать, что в каменной соли, на которой проведены наиболее тщательные опыты, плавление наступает тогда, когда уже всякая, самая ничтожная сила может нарушить правильность кристалла и заставить его течь.

Далее мы обнаружили, что самый процесс сдвигов меняет все свойства кристалла, делает его более жестким, более прочным. По мере нарастания пластической деформации прочность возрастает от нескольких сот граммов на 1 мм^2 до 5—6 кг.

Казалось, что момент, когда в рентгеновых лучах замечаются повороты в кристалле, соответствует первому признаку изменения кристалла. Однако применение других методов показало, что еще задолго до этих поворотов могут уже начаться сдвиги в кристалле.

При комнатной температуре в каменной соли повороты в рентгеновых лучах замечаются при нагрузке в 920 Г на 1 мм^2 поперечного сечения кристалла. Но при изгибе в микроскоп можно заметить пластическое смещение уже при нагрузке в 200 Г, а при помощи разработанных нами

(И. В. Обреимов, М. В. Шубников, М. В. Классен) оптических методов в очень хороших кристаллах можно обнаружить первый сдвиг уже при нагрузке в 10 Г. Чем больше произошло сдвигов, тем большие усилия необходимы, чтобы создать новые сдвиги, — кристалл становится жестче, менее пластичным.

Наряду с изучением пластичности, мы занимались и изучением прочности на разрыв. Теория кристаллических решеток утверждала, что силы, связывающие атомы кристалла в одно целое, в несколько сот раз больше тех, которые на самом деле уже разрывают кристалл. Это противоречие необходимо было выяснить, чтобы понять механизм разрушения кристаллического тела. Оказалось, что нагрузка, при которой наступает разрыв кристалла, действительно очень мала по сравнению с вычислениями теории (400 Г вместо 20 кГ на 1 мм²) и что она почти совсем не меняется ни при нагревании до 600°, ни при охлаждении до —180°. При высоких температурах течение начинается раньше, чем наступает разрыв, и поэтому каменная соль является пластичной как воск. При низких температурах кристалл разрывается раньше, чем он может начать течь, и соль кажется хрупкой. Нет хрупких и мягких материалов; все зависит от соотношения при данных температурах между пределом текучести и пределом прочности.

Одно из возможных объяснений того, что реальная прочность на разрыв так мала по сравнению с теоретической, — это предположение, что разрыв никогда не происходит сразу по всему сечению, а начинается с маленькой трещины, которая, углубляясь, все далее разделяет кристалл на две части. В каждый момент вся нагрузка действует только на маленький участок около края трещины, а для этого маленького участка нагрузка достаточно велика, чтобы углубить трещину. Понятно, что нужно гораздо большее усилие, чтобы разделить сразу по всей ширине полоску бумаги, чем, надорвав край, постепенно ее разорвать. Если это объяснение правильно, то нужно было ожидать, что от свойств поверхности, от существования или легкого образования на ней трещин будет зависеть прочность всего кристалла.

С целью по возможности устранить существующие на поверхности трещины и предотвратить их образование мы погрузили кристалл каменной соли в горячую воду, которая быстро растворяла и постоянно обновляла его по-

верхность. Действительно, прочность при этом повысилась во много десятков раз. Правда, здесь мы имеем дело уже не с первоначальным отдельным кристаллом, а с целой системой сдвинутых и повернутых относительно друг друга кристалликов, так как под водой пластическая деформация идет чрезвычайно быстро и упрочняет кристалл. Но важно, что самые силы сцепления действительно гораздо больше, чем при разрыве одиночного сухого кристалла; легко происходят только сдвиги, а не отрыв частей кристалла. Даже в том случае, когда находящаяся в воде часть кристалла во много раз тоньше, кристалл никогда не рвется в воде, а всегда в сухой части. Этот очень наглядный опыт теперь обычно показывают на лекциях по физике. Так как под водой прочность соли во много раз выше, чем предел ее текучести, то под водой соль уже не хрупка, а наоборот, чрезвычайно пластична. Это тоже весьма легко воспроизводимый опыт.

Другой опыт, который показывает, что дело здесь не в изменении свойств соли, омываемой водой, а в поверхности кристалла, был нами произведен позже. Из каменной соли вытачивался шарик, который предварительно охлаждался в жидком воздухе; затем он внезапно переносился в расплавленное олово или свинец. Здесь внешние слои шарика быстро нагревались, тогда как его центральная часть оставалась еще совсем холодной. Внешние слои поэтому расширялись и растягивали по всем направлениям внутреннюю часть шарика. Напряжения в центре достигали десятков килограммов на квадратный миллиметр, и тем не менее шарик не разламывался. Все дело здесь в том, что напряжения, растягивающие кристалл, существуют только внутри и достигают больших значений в самой центральной части, тогда как поверхность шарика свободна и никаких растяжений не испытывает. Поэтому поверхностные трещинки дальше не распространяются.

Как в случае с кристаллом, погруженным в воду, так и в опыте с шариком мы убедились, что в кристалле, обычно разрушаемом напряжениями в 0.5 кГ, можно создавать напряжения, в 20 раз большие, не разрушая его, если только позаботиться о том, чтобы на поверхности не создавалось трещины, способной своим ростом разорвать кристалл. Каково бы ни было толкование этих фактов, они показывают, что силы, связывающие твердое тело,

в десятки раз больше тех, которые его обычно уже разрушают.

Раньше, чем эти данные были опубликованы, они каким-то образом сделались известными за границей и вызвали там целый поток газетных статей о том, как увеличение прочности материалов повлияет на технику. Писали о мостах из проволоки, пароходах, в несколько дней достигающих Австралии, новых перспективах для транспорта, в особенности воздушного, легких машинах и т. д. Печатались интервью с крупнейшими учеными без того, чтобы кто-нибудь знал точно, в чем дело. Однако между наблюдением исключительной прочности кристалла каменной соли и получением такой же прочности технических материалов — громадный путь; да и успех весьма сомнителен. В технических материалах масса мелких кристалликов, у каждого своя поверхность, масса неоднородностей, отсутствующих в отдельном кристалле. Трудно определить, как здесь использовать опыт каменной соли. И действительно, в этом направлении ничего еще не сделано. Значение этих опытов пока заключается в том, что они подтвердили правильность наших представлений о строении кристаллов и дали более прочное основание для использования этих представлений.

Опыты с прочностью соли в воде во всяком случае указывают на большую роль поверхности. Обычно ее не замечают, потому что внутренние части образца влияют еще больше, чем поверхность. Но чем тоньше образец, тем меньшая часть вещества внутри и тем большее значение получают поверхностные слои атомов. Можно было ожидать, что в мелко раздробленном виде, в тонких листах, в очень тонких нитях механические свойства будут совсем иными, чем в больших кусках. Действительно, давно известно, что очень тонкие металлические, стеклянные и кварцевые нити обладают особенно большой прочностью. Однако часто возражали, что это происходит не от «тонины» нити, а оттого, что поверхность ее подверглась совсем иной обработке, чем внутренность. Так, например, для получения тонких металлических нитей их волочат, протягивают много раз через все более узкие отверстия, вследствие чего они становятся тверже и прочнее. В стеклянных нитях, быстро застывающих, остаются натяжения, и свойства стекла иные.

Чтобы выяснить роль этих обстоятельств, мы принялись за изучение тонко нащепленной слюды, о которой

уже никак нельзя было думать, что поверхностный слой как-то изменен обработкой. Результат был тот же: чем тоньше листок слюды, тем больше его прочность, так же как в тонких стеклянных и кварцевых нитях.

Роль поверхности сказывается и в других отношениях. Стоит покрыть поверхность тончайшим слоем какого-нибудь вещества (масла, спирта, воды) как прочность нитей резко меняется: для воды — в 5 раз, спирта — в 4 раза и масла — в 2 раза по сравнению с совершенно сухой нитью.

Эти факты приводят к новому представлению о механической прочности, о механизме разрыва. Мне представляется, что разрыв начинается с течения материала в разных местах внутри разрываемого образца. Напряжение материала здесь ослабевает, зато на краях такой области сосредоточиваются перенапряжения, которые в свою очередь заставляют течь все большие и большие области внутри образца. Достигая поверхности, такое расслабление может привести к образованию трещины или к росту уже существующей трещины. Если эти представления правильны, то они действительно открывают путь к повышению прочности, если и не в десятки и сотни раз, то все же настолько, чтобы получить резкий технический эффект.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ ИЗОЛЯТОРОВ (ПРОБЛЕМА ВТОРАЯ)

В то время, когда я приступал в Мюнхене к изучению изоляторов, представления об их электрических свойствах были крайне запутаны. Сами свойства назывались либо электрическим последствием, либо электрическими аномалиями (неправильностями). Что же являлось правильным, нормальным, было неясно. Мне прежде всего удалось показать, что и в изоляторах мы имеем дело с таким же электрическим током, переносящим электрические заряды, как и в проводниках, но только зарядов этих меньше, и поэтому ток слабее.

Эта естественная мысль отвергалась потому, что ток обычно быстро ослабевал; по выключении внешнего источника появлялся обратный ток; ток не подчинялся тем законам, которые были установлены для проводников. Не-

посредственными опытами мне удалось показать, что все эти осложнения происходят оттого, что внутри изолятора при прохождении тока накапливаются электрические заряды, в свою очередь влияющие на силу тока. Учитывая их, мы получаем такие же точные законы тока, как и в проводниках. На основе обширного материала была создана общая теория тока в изоляторе и электрических свойств твердых тел. И. В. Курчатовым и П. П. Кубеко открыто явление сегнетоэлектричества.

Особый интерес представлял случай, когда заряды скапливались в очень тонком слое вблизи одного из электродов. Концентрация энергии и сила электрического поля в этом слое были так велики, как нигде до тех пор.

Французский физик Ланжевен первый обратил внимание на громадные технические возможности, заключающиеся в этом явлении. В течение нескольких лет коллективными усилиями большой группы сотрудников мы пытались разобраться в этом загадочном явлении и использовать его для концентрации электрической энергии. Удалось исследовать распределение зарядов в тончайших слоях изолятора толщиной в тысячную миллиметра и установить законы их накопления, зависимость явления от температуры, тока, свойств кристалла и т. д. В особенности существенную роль играют примеси, находящиеся в изоляторе. Вводя их, можно вызвать скопление зарядов. Очищая изолятор от всяких посторонних примесей и включений, можно совсем освободиться от зарядов. Эта связь позволяет изучить вхождение и распределение различных веществ внутри твердого тела — изолятора. Явление было тщательно изучено, но практическое применение вылилось в совершенно иную форму. Ход исследования показал, что такие исключительные по величине электрические силы потому не разрушают изолятора, что слой, в котором собираются заряды, очень тонок. Любая достаточно тонкая пластинка изолятора обладает такими же свойствами, как и этот тонкий, заряженный слой в кристалле.

Следующей стадией работы было изучение тонких слоев. Для этого оказалось необходимым изучать пленки в тысячные и десятитысячные доли миллиметра толщиной. Опыты привели нас к следующему представлению: когда электрическое напряжение в изоляторе достигает определенных пределов, в нем начинает развиваться электрическая лавина, приводящая к его разрушению или

пробою. Заряды, перемещение которых в изоляторе обычно составляет ток, ускоряются здесь настолько, что получают способность своим ударом выбивать новые заряды. Если бы мы проследили за одним каким-нибудь зарядом на его пути сквозь кристалл, то обнаружили бы, что, постепенно ускоряясь, уже на расстоянии в десяти-тысячные доли миллиметра он выбивает новый заряд. Эти два заряда, пройдя такой же путь, вырвут еще по одному заряду. При следующем столкновении будет уже четыре заряда, потом 8, 16, 32, 64 и т. д. Легко видеть, что после одного только десятка столкновений один заряд создаст 1000 новых, после двух десятков их появится миллион и т. д. Такое неограниченное нарастание новых зарядов должно привести к пробое. Как же его избежать? Как ограничиться только немногими столкновениями? А эти-то именно условия мы и имеем в очень тонких слоях; здесь лавина доходит до противоположного края изолятора раньше, чем успеет разрастись и сделаться губельной. Чем раньше будет остановлена лавина, тем лучше; поэтому можно было ожидать, что этот прием будет тем действительнее, чем тоньше слой.

Действительно, первые наши опыты заставили нас думать, что те напряжения, которые совершенно неизбежно пробивают обычные изоляторы, не разрушают его, если тот же изолятор испытывается в виде пленки в тысячную миллиметра толщины. Чем толще была пленка, тем больше в ней накапливалось зарядов и тем сильнее был проходящий через нее ток. Это наблюдение также подтверждало представление о лавине зарядов.

Такой же прочностью, какой обладает отдельный тонкий слой, должна обладать и комбинация из паложенных друг на друга тонких слоев — тонкослойная изоляция. Для электротехники изоляция со столь высокой прочностью представляла бы громадный интерес. Для технической разработки нового вида изоляции нами были заключены договоры с крупнейшими американскими и германскими электротехническими фирмами с тем, чтобы на эти работы фирмами были ассигнованы крупные суммы; все результаты должны были быть предоставлены бесплатно нашей промышленности, а изделия, производимые за границей, должны были давать нам определенный валютный доход. Однако цель эта не достигнута, хотя и удавалось получать прочность в 6 млн В на сантиметр вместо 500 000 В, которые раньше определяли прочность

изоляции, но в ходе работы применяемые материалы сами по себе были настолько улучшены, что они и без тонкослойности выдерживали до 4—5 млн В. Разница не так велика, чтобы оправдать такой дорогой продукт, как тонкослойная изоляция.

С другой стороны, и представления о причинах пробоя в результате этой работы существенно изменились. Была разработана новая, более точная методика измерений тонких слоев. Произведенное вместе с А. П. Александровым исследование пробоя стекла и некоторых лаков не укладывается в представление о лавине зарядов и не дает увеличения прочности в тонких слоях. Правда, опыты со слюдой, лаками и разнообразными жидкостями, произведенные в Германии, подтверждают представление о лавине, но есть основание думать, что более подробный их анализ и проверка, которой мы сейчас заняты, и здесь приведут к иным результатам. Для создания новой теории пробоя имеется уже обширный материал, доставленный опытами А. Ф. Вальтера, К. В. Синельникова, А. Хипеля. Дальнейшая работа в этом направлении покажет, какой прочности удастся реально достигнуть и насколько можно будет удешевить стоимость изоляции.

В ходе работ по тонкослойной изоляции созданы и изучены новые изоляционные материалы (стирол и эфиры целлюлозы), представляющие большие преимущества для нашей электропромышленности. Эти же материалы оказываются чрезвычайно важными и для агрономических целей. Разработаны новые методы защиты от краевого пробоя — главного врага высоких напряжений — и более совершенная методика измерений. Таким образом, эта работа, изменив наши теоретические взгляды, привела и к усовершенствованию техники изоляции.

За последние годы немецким физиком Смекалем было выдвинуто представление, сводящее ток к тем случайным неоднородностям, которые существуют во всяком реальном кристалле. Мне вместе с группой сотрудников пришлось предпринять обширное исследование, чтобы разобраться в этом вопросе. Однако опыты не подтвердили взглядов Смекаля; наоборот, выяснилось с полной очевидностью, что те неоднородности, которые, несомненно, существуют в кристаллах, никакого влияния на его электрические свойства, на его электропроводность не оказывают. В феврале 1930 г. в Берлине состоялась большая дискус-

сия по этому вопросу, которая не оставила никаких сомнений в неприменимости взглядов Смекалья к теории электропроводности изоляторов.

ЭЛЕКТРОНЫ И СВЕТОВЫЕ КВАНТЫ (ПРОБЛЕМА ТРЕТЬЯ)

В 1910—1911 гг. возникла полемика между американским физиком Милликеном и его австрийским коллегой Эренгафтом по вопросу о реальности существования электрона. С другой стороны, я уже упоминал о своем особом интересе к идее распространения света в виде отдельных квантов. На этой почве возник ряд работ, опубликованных лишь частично.

Впервые электроны были получены в сильно разреженных трубках в виде потока, вылетающего из катода (отрицательного полюса) и называемого поэтому катодными лучами. Удалось показать, что они действительно переносят с собою электрический заряд, но одно из свойств, которым должен был бы обладать поток электронов, упорно не подтверждалось. Не удавалось обнаружить магнитное поле, которое должен был бы создать такой поток вокруг себя. Проанализировав все произведенные опыты, я обнаружил допущенные в них ошибки и, устранив их, мог с достаточной точностью не только установить, но и измерить магнитное действие катодных лучей.

Нужно было, далее, доказать, что эти лучи состоят из отдельных элементарных частиц — электронов. Для этого я воспользовался следующим способом: маленькие заряженные цинковые пылинки вводились между двумя пластинками, из которых нижняя заряжалась электричеством того же знака, как и пылинка; верхняя — противоположным. Можно было подобрать заряд пластин так, чтобы пылинка, отталкиваясь от нижней пластины и притягиваясь к верхней, как раз уравновешивала силу тяжести, тянущую ее вниз. Частичка часами висела неподвижно, пока заряд ее не менялся. Если он менялся, то приходилось изменять заряд пластин на вполне определенную величину. Освещая пылинку ультрафиолетовым светом, можно было заставить ее потерять отрицательный заряд.

Изменение заряда никогда не происходило непрерывно. Время от времени с пылинки сразу слетало определенное количество электричества. Многие тысячи таких

наблюдений показали, что, какова бы ни была частичка по размерам или по составу (например, ртуть вместо цинка), электричество теряется всегда строго одинаковыми порциями, равными заряду электрона. Ни разу не наблюдалась частичка, на которой было бы $\frac{1}{2}$ электрона или $1\frac{1}{2}$ электрона. Так как под действием освещения теряется именно электричество, а не атомы вещества, то эти опыты показали, что отрицательное электричество встречается в природе лишь в виде определенного числа целых порций — электронов.

Те же опыты были использованы и для изучения строения того света, который срывает с пылинки электрона. Опыты наши в этом направлении имели следующий вид: алюминиевое острие, находящееся в миниатюрной пустотной трубке, освещалось слабым ультрафиолетовым светом так, чтобы с него время от времени срывались электроны. Эти электроны ускорялись в трубке электрическим полем в 10 000 В и попадали на тонкую алюминиевую фольгу, где создавали световые, или, точнее, рентгеновские кванты. На небольшом расстоянии над фольгой находилась взвешенная пылинка висмута. И вот мы могли наблюдать, как изредка (раз в несколько часов) с пылинки висмута слетал электрон, и тогда он сразу уносил с собою весь тот запас энергии, который другой электрон затратил в алюминиевой фольге при создании кванта света. Таким образом, вся энергия, полученная световым квантом в фольге, целиком передается пылинке, находящейся на расстоянии, которое, хотя и мало, но в тысячу раз больше, чем размер пылинки. Если пылинка получила всю энергию, то тем самым приходится признать, что в других направлениях этот световой квант уже не будет двигаться. Этот опыт — один из наиболее убедительных фактов, свидетельствующий о квантовой природе света.

Но это только одна сторона его свойств. Одновременно с этим свет является и электромагнитной волной. Синтез этих двух сторон света дан был новой квантовой механикой, которая не только световым волнам приписала свойства движущихся частиц, но и в движущихся частицах обнаружила волновые явления.

Волны материи и сейчас остаются физически неясными. В результате стремления конкретизировать идею волн материи появился ряд работ по опытному изучению их свойств. Мы пытались выяснить, могут ли эти волны обладать поляризацией, подобно световым и радиоволнам,

т. е. обладать разными свойствами в разных направлениях вокруг направления своего распространения. Ответ получился отрицательный. Далее, мы искали резонанс этих волн, их преломление и т. п.

ПРОБЛЕМЫ НОВОЙ ТЕХНИКИ (ПРОБЛЕМА ЧЕТВЕРТАЯ)

Осуществление первой пятилетки и подготовка к широкому развертыванию социалистического хозяйства, к генеральному плану электрификации поставили перед советской физикой ответственную задачу— своевременно подготовить научную базу новой техники нашего близкого будущего. Изучая с точки зрения современного знания состояние важнейших областей техники, нельзя не видеть, что в большинстве случаев те возможности, которые заключаются в современной физике, не используются техникой и, более того, физика не развила и не изучила методов, наиболее радикально решающих проблемы энергетики, электрификации, строительства, сельского хозяйства, транспорта.

В течение 1930—1931 гг. я в ряде статей формулировал главнейшие задачи физики в этом направлении. Некоторые из поставленных задач требуют сравнительно небольшого развития и уточнения их физических основ. Главное — это техническая и экономическая разработка каждой отдельной задачи. Только на основе такой разработки можно будет судить о пригодности и значении их для народного хозяйства. К числу этих задач относятся: использование солнечной энергии для опреснения воды, для бытовых нужд, для сушки, выплавки руд и солей, рационализации парников, получения механической энергии и т. д.; применение физики в агрономии: покрытие почвы и растений пленками, лаками и газами с целью усиления прогрева, воздействие физических факторов (токов, лучей, ионов, волн) на почву и растения и т. д.; новые формы строительства, освещения, вентиляции, отопления, в частности использование для отонительных целей холодильных машин; постройка с минимально возможным протяжением внешних стен, с помещениями (нежилыми), лишенными окон как средство к уменьшению расхода топлива; новые источники электрического освещения, дающие больше ультрафиолетового света, особенно источ-

ники со светящимся газом; машины, использующие разность температур, существующую на далеком Севере между водой в реках и океане и воздухом.

Среди этих задач некоторые требовали еще основательной научной проработки. Таков вопрос о непосредственном превращении тепловой энергии в электрическую при помощи термоэлементов. Здесь пришлось поставить задачу изучения природы явления на гораздо более широком круге материалов, чем до сих пор, изучить для этих новых материалов как электрические, так и тепловые их свойства. Был разработан совершенно новый оптический метод измерения теплопроводности материалов, не требующий ни измерений температур, ни затрат тепловой энергии. Широкая техническая задача использования полупроводников привела к необходимости решения глубоких научных вопросов их теории.

Нет основания надеяться, чтобы термоэлементы могли конкурировать с современными тепловыми станциями, но для использования новых источников энергии южного солнца, северного холода они могут оказаться пригодными.

Другая задача — это фотоэлектричество: превращение световой энергии в электрическую. И здесь мы еще далеки от практического решения задачи. Но на пути к ней лежит ряд совершенно достижимых и весьма полезных результатов. Современная электротехника уже начинает пользоваться новыми фотоэлементами, которые одновременно являются и выпрямителями переменного тока. Мы попытались создать теорию этих новых явлений и применить ее к опытным исследованиям. И здесь получен ряд весьма интересных новых фактов и выводов.

Если по первым трем проблемам, которыми я и мои товарищи по институту занимались уже 25 лет, имеется ряд определенных результатов, то последние задачи находятся еще в начальной стадии; получены только первые результаты, которые мы надеемся развить в научную базу, подготавливающую будущую технику.