

Э. В. ШПОЛЬСКИЙ

СОРОК ЛЕТ  
СОВЕТСКОЙ  
ФИЗИКИ

ФИЗМАТГИЗ 1958

Э. В. ШПОЛЬСКИЙ

СОРОК ЛЕТ  
СОВЕТСКОЙ  
ФИЗИКИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

МОСКВА 1958

## АННОТАЦИЯ

В книге дано краткое введение в историю советской физики, представлены наиболее существенные, характерные черты развития физики в нашей стране, рассказано о самых выдающихся достижениях советской физики.

Рассчитана на широкие круги советской интеллигенции, интересующейся успехами нашей науки.

---

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Эта маленькая книжка представляет собой переработанный и расширенный вариант статьи, опубликованной в номере журнала «Успехи физических наук» за ноябрь 1957 г., посвященном 40-летию Великой Октябрьской социалистической революции. После опубликования статьи я получил ряд замечаний, которыми охотно воспользовался при подготовке к печати книжки. Я особенно обязан В. П. Джелепову, С. М. Рытову, М. П. Малкову и Н. Е. Алексеевскому, ценные указания которых позволили значительно улучшить изложение. Конечно, небольшая книжка, написанная одним автором, ни в коем случае не может претендовать на полноту. Все же мне кажется, что и в своем настоящем виде книжка дает представление о том поразительном росте, который характеризует советскую науку вообще и физику в особенности.

*Э. Шпольский*

Москва  
Март 1958 г.



---

«Посев научный взойдет для жатвы народной»

Д. И. Менделеев

## І. ФИЗИКА В РОССИИ ПЕРЕД РЕВОЛЮЦИЕЙ И НАЧАЛО ОРГАНИЗАЦИИ СОВЕТСКОЙ ФИЗИКИ

Великая Октябрьская социалистическая революция открыла новую эпоху в развитии физики в России.

Ярчайшим доказательством выдающихся успехов советской науки является, как известно, запуск в знаменательные дни сорокалетнего юбилея всемирно-исторической даты Октября 1917 г. первого и второго искусственных спутников земли. Но рост физики во всех ее разделах, включая овладение и применение ядерной энергии, является быть может не столь концентрированным, но не менее убедительным свидетельством необычайных успехов советской науки. Интересно и поучительно поэтому сравнить на фоне развития мировой науки масштаб и общий характер дореволюционной физики в России с физикой Советского Союза в наши дни.

Примерно шестьдесят лет назад в физике начался тот глубокий переворот, который развернулся в последующее десятилетие и который определил направление и характер развития этой науки на многие годы, возможно, на столетия вперед. Вспомним основные факты и важнейшие определяющие черты этого переворота. В 1895 г. были открыты рентгеновские лучи, в 1896 г. — радиоактивность. Хотя существование электрона предвиделось уже в середине семидесятых и в восьмидесятых годах XIX столетия, исчерпывающее доказательство его реальности, определение его заряда и массы было дано в 1898 г., — событие для того времени, вероятно, не менее ошеломляющее, нежели открытие рентгеновских лучей и радиоактивности. В самом деле, ведь этим было экспериментально доказано существование «атома отрицательного электричества» с массой, почти в 2000 раз

меньшей массы легчайшей из известных до того элементарных частиц — атома водорода. Исследование броуновского движения в начале XX столетия сообщило представлению об атомах и молекулах вещества столь же «ощутимую» реальность, как и реальность окружающих нас макроскопических предметов. Наконец, открытие интерференции рентгеновских лучей в 1912 г. подтвердило с новой стороны самым наглядным образом реальность атомов и открыло путь для изучения строения кристаллов. Вместе с тем было положено начало исследованию строения атома — сначала в виде статической модели, оставленной после открытия Резерфордом в 1912 г. атомного ядра.

На базе всех этих и многих других замечательных экспериментальных открытий, на рубеже столетий и в первые годы XX столетия возникли и те важнейшие физические теории, которые определяют весь характер физики в наши дни и на многие будущие годы. Это — теория квантов, теория относительности и физическая статистика.

Посмотрим теперь, что же было в России в эту замечательную в истории физики эпоху, к которой в большей степени, нежели к известному литературному движению, применимо название периода «бури и натиска» в области физики. Отметим, прежде всего, что в сопредельных с физикой науках — в химии и математике — в XIX и в начале XX столетия в России были сделаны открытия, по своему значению и преобразующему революционному влиянию далеко выходящие за пределы собственной науки и не уступающие перечисленным открытиям в области физики. Достаточно напомнить открытие периодической системы элементов Менделеевым, открытие структуры органических соединений Бутлеровым, органические синтезы Зинина — в химии; в математике — важнейшие работы в области математического анализа Чебышева, Ляпунова, Стеклова, не говоря уже о гениальном открытии геометрии Лобачевского, сделанном в первой половине XIX столетия.

Положение физики в царской России было гораздо менее благоприятным. Конечно, мы можем назвать ряд имен выдающихся физиков, которыми мы гордимся. Это — чтобы ограничиться, в соответствии с предыдущим, концом XIX и началом XX столетия — имена Столетова, Ленца, Умова, Голицына, Лебедева, Эйхенвальда. Однако, за исключением Лебедева, героическими усилиями создавшего в Москве первую русскую школу физиков, остальные были



учеными-одиночками. Тем больше должно быть наше уважение к их выдающейся деятельности. Факт крайне неблагоприятного положения физики в дореволюционной России вследствие непонимания царским правительством роли науки в судьбе государства и слабого развития техники и промышленности, в немалой степени находившейся в руках иностранных капиталистов, этот факт с необычайной яркостью подчеркнут в приводимой ниже цитате из статьи одного из выдающихся физиков того времени — Н. А. Умова. В статье «Физический институт Московского университета» \*), доказывая важность творческой, а не только учебной деятельности Университета, Умов в 1898 г. писал: «Политическое значение нации может быть прочным при условии, что культурный ее уровень соответствует ее политическому подъему. В наше время оружие, мужество не являются единственными факторами, обеспечивающими успех в борьбе народов за свое развитие и существование». Отметив, что важнейшей характеристикой культурного уровня страны являются ее «вклады в область знания», Умов далее пишет: «Если мы обратимся к нашей стране, мы сознаем, что мы, к сожалению, до сих пор большею частью перенимаем и заимствуем и очень мало вкладываем в культурную жизнь человечества. И если мы посмотрим, что делалось у нас для развития знания, то станет ясным, что старания прилагались к тому, чтобы мы учились, и были довольны, если мы хорошо учились... Музей, кабинет — вот термины, характеризующие прежний взгляд: учишься; институт — вот новый взгляд: учишься и твори, создай».

А вот свидетельство, относящееся уже к началу XX столетия, ныне здравствующего выдающегося советского физика акад. А. Ф. Иоффе \*\*): «Когда я начинал работать в Петербурге (это был 1906 год), — пишет А. Ф. Иоффе, — там еще сильны были традиции XIX века, и даже скорее его середины, школы Ф. Ф. Петрушевского. Преподавание физики в высшей школе шло по линии так называемой измерительной физики — методов измерения, как основы точного знания. Во всех высших школах С.-Петербурга первый курс отводился описанию измерительных приборов, и только со второго курса излагались законы из области теплоты, элект-

\*) Н. А. У м о в, Собрание сочинений, т. III, стр. 142, Москва, 1916.

\*\*\*) А. Ф. И о ф ф е, Советские физики и дореволюционная физика в России, УФН 33, 454 (1947).

тричества, магнетизма, оптики, акустики. Теоретическая или, вернее, математическая физика в университетах сводилась к феноменологической формулировке законов и решению уравнений в частных производных из области теплопроводности и электростатики. Профессора и преподаватели высших школ обладали обширной эрудицией, но мало внимания уделяли творческой деятельности. Научные работы оставленных при университете часто сводились к повторению опубликованных работ».

Однако именно тогда в Петербурге появилась группа молодых физиков, которой суждено было сыграть важную роль в организации советской физики. Д. С. Рождественский совершенно самостоятельно вел в то время свою классическую работу по аномальной дисперсии в парах натрия в Петербургском университете. А. Ф. Иоффе в качестве магистерской диссертации представил блестящую работу об «Элементарном фотоэффекте», где прямым опытом на взвешенных в конденсаторе Милликена металлических пылинках доказал электронную природу фотоэффекта с металлов и статистическую независимость элементарных актов фотоэффекта. Тем самым, наряду с работами Милликена, было дано экспериментальное доказательство существования электронов и световых квантов.

К той же плеяде молодых физиков принадлежал Д. А. Рожанский, «диссертация которого (исследование искры) привлекла всеобщее внимание свежестью физических идей» \*).

Наконец, большое влияние оказал выдающийся представитель теоретической физики П. С. Эренфест, в то время работавший в С.-Петербурге \*\*), впоследствии занявший кафедру Г. А. Лоренца в Лейдене (очевидно, не только из-за почета, связанного с занятием кафедры, деятельность которой привлекала внимание всего мира, но и вследствие бесперспективности для П. С. Эренфеста продвижения в условиях царской России).

Такова была физика С.-Петербурга. Более благоприятные условия в начале столетия создались в Москве, где благодаря деятельности одного из замечательнейших русских физиков, П. Н. Лебедева, была создана первая русская школа физиков и где рядом с Лебедевым работал его друг детства, выдающийся физик и педагог А. А. Эйхен-

\*) А. Ф. Иоффе, цит. статья, стр. 465.

\*\*\*) См. статьи Г. Юленбека и А. Ф. Иоффе, УФН 62, 367 (1957).



вальд. Лебедев уже в 1900 г. в своих классических работах дал безупречное доказательство существования светового давления на твердые тела, а в 1908 г. доложил Съезду русских естествоиспытателей и врачей свою рекордную по трудности работу о световом давлении на газы. Эйхенвальд закончил свои важные работы, доказавшие существование магнитного поля движущихся зарядов и токов смещения. Его лекции и публичные доклады, блестящие в педагогическом и в ораторском оформлении, поражавшие воображение слушателей блеском и эффектностью демонстраций, привлекали большие аудитории молодежи и очень поднимали интерес к физике. Но при всем том условия, в которых выполнялась эта важная работа, были крайне неблагоприятными. Для лаборатории Лебедева в здании Физического института Московского университета нашлось место только в подвале. То, что мы называем теперь «технической базой» лаборатории, фактически отсутствовало, так как эта «база» была представлена одним небольшим токарным станком и одним механиком (Алексеем Ивановичем Акуловым, много помогавшим Лебедеву в его трудных экспериментальных работах). Поэтому каждый из работавших в лаборатории Лебедева обязан был сам своими руками сделать все необходимые части своей установки, а для того чтобы сотрудники («практиканты», как их называли тогда) к этому были подготовлены, они должны были предварительно пройти «курс учения» в частной мастерской П. И. Громова и сдать «зачет» в форме изготовления какого-нибудь простого прибора. Кстати сказать, никакой штатной должности эти практиканты не занимали и никакой зарплаты не получали: большинство из них отдавали научной работе свои часы досуга, добывая средства к существованию преподаванием в средних школах или, в виде исключения, в высших учебных заведениях. Однако и этих скромных условий работы Лебедев был лишен, когда в 1911 г. вместе со всеми прогрессивными профессорами счел своим гражданским долгом уйти из Университета в виде протеста против репрессий в отношении Университета, предпринятых реакционным министром просвещения.

Один небольшой факт, сохраненный для потомства учеником Лебедева Т. П. Кравцем \*), ярко показывает всю

---

\*) Т. П. К р а в е ц, Творческий путь П. П. Лазарева, УФН 27, 17 (1945).



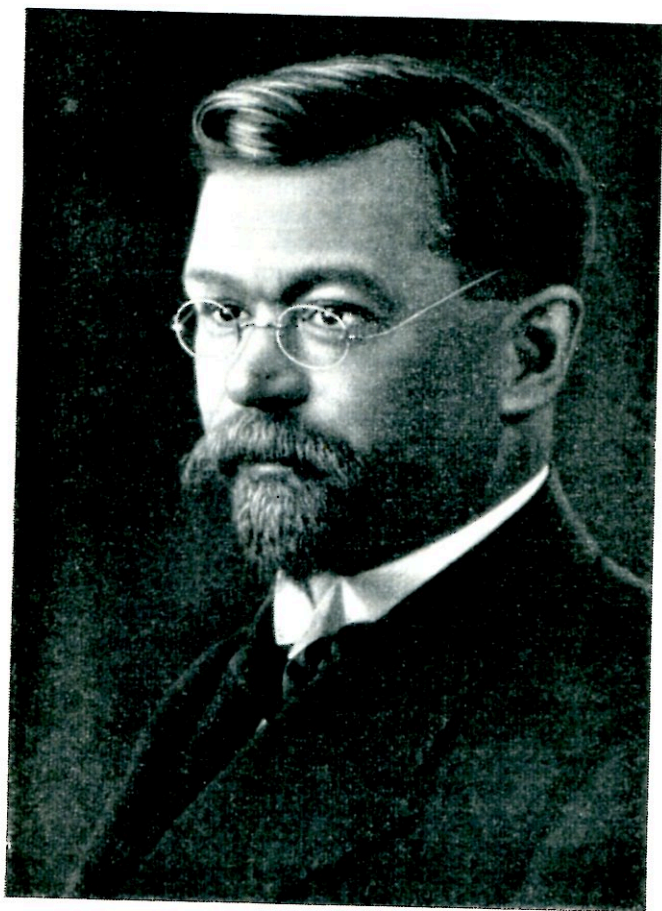
глубину непонимания представителями крупной русской буржуазии потребностей науки и роли физики в развитии промышленности. После ухода Лебедева из Университета ученики его, озабоченные созданием для Лебедева возможности продолжать исследовательскую работу, обратились за помощью к одному из видных представителей московской буржуазии. Последний, благосклонно выслушав молодых ученых, обещал подумать. На следующий день он позвонил по телефону Лебедеву и сообщил, что ему будет предоставлено право работать в физическом кабинете так называемой Практической Академии — среднего учебного заведения, содержавшегося на средства московского купечества. В этом школьном кабинете и предлагалось вести научную работу ученому с мировым именем после завершения рекордных по трудности экспериментов со световым давлением на газы!

Однако, помимо этого трагического для русской науки и культуры события — разгрома старейшего русского Университета реакционным царским правительством, уже в то время, в 1911 г., отчетливо чувствовалась необходимость создания научно-исследовательских институтов, не связанных с учебными задачами и снабженных достаточно серьезной технической базой. Выдающиеся ученые — П. Н. Лебедев, К. А. Тимирязев, Н. А. Умов, М. А. Мензбир (зоолог) — выступили в печати со статьями, доказывающими необходимость создавать, наряду с университетами, исследовательские институты — национальные лаборатории, как их назвал Лебедев.

Царское правительство осталось глухим к этим призывам. Тем не менее возникшее общественное движение не прошло даром. Ученым удалось убедить представителей крупной русской буржуазии в необходимости развития физики в России и на собранные частные пожертвования, в порядке общественной инициативы, было создано «Московское общество научного института»\*), поставившее своей задачей содействие организации «национальных исследовательских институтов», в первую очередь — Физического института. К сожалению, П. Н. Лебедеву не удалось увидеть осуществление своей мечты, так как он умер в возрасте 46 лет, через год после ухода из Университета.

---

\*) Сведения об этом обществе можно найти в брошюре проф. В. М. Хвостова «О значении и задачах научного института», М., 1913.



П. П. ЛАЗАРЕВ

Его дело продолжал в Москве его ученик и ближайший помощник П. П. Лазарев, вокруг которого собралась небольшая группа молодежи, в том числе С. И. Вавилов, Б. В. Ильин, П. Н. Беликов, С. Н. Ржевкин, Н. Т. Федоров, А. С. Предводителей, А. Г. Калашников, Э. В. Шпольский, Т. К. Молодой, Г. С. Ландсберг, В. В. Шулейкин и другие. Группа физиков старшего поколения концентрировалась вокруг Московского физического общества (А. А. Эйхенвальд, Ю. В. Вульф, В. К. Аркадьев, А. К. Тимирязев, А. Б. Млодзеевский, С. А. Богуславский, А. И. Бачинский и др.). В Петрограде перед самой революцией наметились две группы молодых научных работников: одна, связанная с семинаром А. Ф. Иоффе и включавшая П. Л. Капицу, Н. Н. Семенова, Я. И. Френкеля, П. И. Лукирского, и вторая — группа энтузиастов научной и прикладной оптики с Д. С. Рождественским во главе (А. И. Тудоровский, А. Л. Гершун-старший, И. В. Гребенщиков и др.). Эти группы московских и ленинградских физиков и образовали те центры, вокруг которых возникли и выросли крупные советские институты, созданные в первые годы революции.

Организация научно-исследовательской работы в крупном масштабе была предпринята Советским правительством с первых дней революции. Поддерживая сложившиеся университетские научные центры, необычайно интенсивно развивая сеть новых высших учебных заведений, Советское правительство вместе с тем сосредоточило внимание на развитии сети больших научно-исследовательских институтов по самым разнообразным специальностям. Это интенсивное развитие научно-исследовательских институтов логически вытекало из неуклонно проводившегося Советским правительством принципа, в силу которого научно-исследовательская работа была положена в основу индустриального развития страны, развития ее сельского хозяйства, здравоохранения, развития ее культуры. Наука была признана необходимым элементом государственного строительства. Мечта выдающихся русских ученых конца XIX и начала XX столетия осуществлялась именно Коммунистической партией, Советским правительством.

Что касается физики, то начало планомерного создания научных институтов относится еще к 1918 г. В это суровое время, в разгаре борьбы с контрреволюцией и интервенцией, с многочисленными хозяйственными затруднениями, доставшимися революции в наследство от первой мировой



войны и царского правительства, были созданы крупнейшие институты, быстро переведшие науку в СССР на новый, более высокий уровень. Пионерами в этом исторически важном деле были выдающиеся советские ученые П. П. Лазарев, А. Ф. Иоффе и Д. С. Рождественский. Первый из них, П. П. Лазарев, организовал в Москве Институт физики и биофизики, который включил в программу своих работ широкий круг проблем физики, биофизики, геофизики. А. Ф. Иоффе и Д. С. Рождественский создали в Ленинграде Физико-технический и Оптический институты. Их первыми сотрудниками были молодые ученые, тогда группировавшиеся около своих руководителей. Впоследствии многие из них сами создали свои научные школы, насчитывающие к настоящему времени еще два поколения ученых.

В декабре 1918 г. в Петрограде собрался Первый съезд русских физиков, который сыграл роль учредительного съезда советской физики. Петроград в ту пору переживал суровые дни из-за различных хозяйственных затруднений. Но энтузиазм собравшейся сравнительно небольшой группы ученых различных возрастов, горячо обсуждавших предстоящие для разрешения научные проблемы, был так велик, что он заставлял участников совершенно позабыть эти бытовые затруднения.

В последующие годы в Москве, Ленинграде и других городах СССР был организован ряд крупных физических институтов. Таков Физический институт Академии наук СССР имени П. Н. Лебедева, первоначально основанный на базе небольшой физической лаборатории Академии наук, но, начиная с 1934 г., с переездом Академии в Москву благодаря энергии и инициативе его директора С. И. Вавилова превратившийся в крупнейший научный центр\*). Отметим, далее, созданный П. Л. Капицей Институт физических проблем Академии наук СССР, прославившийся своими замечательными работами в области физики низких температур, теоретической физики и в других областях. Украина имеет ряд крупных институтов, в том числе Физико-технический институт в Харькове и Физический институт АН УССР в Киеве. В Томске создается Сибирский физико-технический институт, в Свердловске — Институт

---

\*) Историко этого института см. в статье С. И. Вавилова: Физический кабинет — физическая лаборатория — физический институт за 220 лет, УФН 28, вып. 1 (1946). См. также статью Д. В. Скобелевца и И. М. Франка, УФН 63, вып. 3 (1957) стр. 503 и след.



А. Ф. ИОФФЕ



физики металлов. В Белоруссии, Грузии, Армении, Казахстане и других национальных республиках создаются научные центры в области физики. В задачу книги не входит обзор деятельности всех институтов и научно-исследовательских лабораторий, организованных после революции и развивающих интенсивную деятельность на высоком современном научно-техническом уровне. Большую роль в развитии и укреплении физических институтов Академии наук СССР, ее филиалов, экспедиций и баз сыграла деятельность Президента Академии наук СССР С. И. Вавилова.

Особо следует отметить тот рост, который получила в Советском Союзе в послевоенные годы ядерная физика в связи с исключительным значением работ в этой области. Как известно, работы в области ядерной физики предъявляют особенно высокие требования как к творческой активности ученых, так и к научно-техническому уровню институтов и лабораторий, в свою очередь предъявляющему небывало высокие требования к общему уровню техники в стране. В Советском Союзе организация работ в этой области была поставлена в широком масштабе. Был создан ряд лабораторий, оборудованных по последнему слову техники. Среди них — мощные институты: Институт атомной энергии и Институт ядерных проблем Академии наук СССР. На базе последнего института и электрофизической лаборатории АН СССР в 1956 г. был организован международный «Объединенный институт ядерных исследований», членами которого являются 12 государств.

В самые последние годы, ввиду резкого возрастания роли полупроводников в физике и технике, создан специальный Институт полупроводников АН СССР во главе с А. Ф. Иоффе.

Наряду с созданием институтов, специально занимающихся научно-исследовательской работой, были значительно расширены и старые университетские центры. Наиболее крупным из них является Физический институт Московского университета, сыгравший важнейшую роль в развитии физики в СССР, главным образом благодаря работам школы Л. И. Мандельштама в области физической оптики и теории колебаний. В 1953 г. этот институт получил уникальные по богатству научные лаборатории в новом здании на Ленинских горах. Большая работа выполнена также в стенах Физического института Ленинградского университета, в Одесском, Киевском, Томском и в ряде других.

---

---

## II. ОБЗОР РАБОТ СОВЕТСКИХ ФИЗИКОВ

В нижеследующем мы попытаемся дать обзор важнейших работ, выполненных советскими физиками за истекшие сорок лет. Мы старались отметить важнейшие достижения и сознательно ограничились основными разделами физики, отказавшись от рассмотрения пограничных областей, таких, как геофизика, астрофизика, биофизика, химическая физика (включая тесно связанную с физической оптикой фотохимию), а также относящиеся главным образом к физической химии проблемы молекулярной физики.

### Теоретическая физика

Теоретическая физика как самостоятельная часть физики возникла вследствие необычайного развития физики в XX столетии. В прежние времена каждый физик был и теоретиком и экспериментатором. Примером среди ученых XIX столетия и начала XX может служить Дж. Дж. Томсон, который начал свою деятельность как математик, продолжил работы Максвелла по теории электромагнитного поля, но наряду с этим экспериментально доказал реальность электрона, построил первый масс-спектрограф (метод парабол) и экспериментально открыл изотопы нерадиоактивных элементов. Глубокие теоретические работы Л. Больцмана общеизвестны, но, может быть, не все знают, что ему же принадлежат тонкие экспериментальные работы по диэлектрическим постоянным газов. В России одновременно теоретиками и экспериментаторами были все физики — А. Г. Столетов, Н. А. Умов, Н. Н. Шиллер, — деятельность которых либо целиком, либо главным образом относилась к XIX столетию. Постепенно, однако, как математические, так и экспериментальные методы настолько усложнились, что физики должны были решать своеобраз-



ную проблему «выбора профессии» — стать ли теоретиком или экспериментатором.

Поскольку объектом работы физика-теоретика может быть любая физическая проблема, понятие «теоретическая физика», строго говоря, охватывает всю физику. В нашем обзоре мы выделяем в особую рубрику «теоретическая физика» те работы, которые относятся к наиболее общим проблемам и теориям современной физики: теории относительности, квантовой механике и статистике. Наряду с этим ссылки на работы теоретиков будут даны практически во всех дальнейших рубриках. Едва ли нужно говорить о том, что в обзоре, подобном нашему, охватывающем всю физику, глубокие и трудные работы по теоретической физике могут быть охарактеризованы лишь бегло и поверхностно — почти только по названиям.

До революции в России теоретическая физика, в том смысле, как этот термин мы здесь применяем, была представлена слабо. И это несмотря на то, что к моменту начала революции уже существовали теория относительности, специальная и общая, теория квантов Планка, атом Бора с его проблемами квантования различных систем и, наконец, — классическая статистика. Однако в новых условиях научной работы, созданных Советским правительством, в только что организованных научно-исследовательских институтах уже появились в то время молодые теоретики — Я. И. Френкель, Ю. А. Крутков, В. А. Фок, А. А. Фридман и некоторые другие, которые и образовали ядро для последующего интенсивного количественного и качественного развития теоретической физики в СССР.

В настоящее время у нас имеются крупные школы физиков-теоретиков. Отметим большие группы учеников И. Е. Тамма (С. А. Альтшулер, С. З. Беленький, Д. И. Блохинцев, А. Д. Галанин, В. Л. Гинзбург, А. С. Давыдов, С. И. Пекар, А. Д. Сахаров, Е. Л. Фейнберг, С. П. Шубин, В. С. Фурсов) и Л. Д. Ландау (А. А. Абрикосов, А. И. Ахиезер, В. Б. Берестецкий, В. Г. Левич, Е. М. Лифшиц, И. М. Лифшиц, А. Б. Мигдал, И. Я. Померанчук, И. М. Халатников, Я. А. Смородинский). Большинство этих теоретиков, в сущности принадлежащих к третьему поколению советских физиков, имеют своих уже сложившихся учеников.

Из работ по наиболее общим проблемам теоретической физики следует прежде всего упомянуть широко известную

работу А. А. Фридмана по общей теории относительности. В этой работе Фридман показал, что, наряду со стационарными решениями общей теории относительности, лежащими в основе релятивистской космологии Эйнштейна, существует и нестационарное решение, совместимое с изменением радиуса кривизны мирового пространства с течением времени. Эта работа послужила основой для нового направления в релятивистской космологии.

Другой фундаментальной работой по общей теории относительности и теории тяготения была работа В. А. Фока, посвященная приближенному решению проблемы  $n$  тел в эйнштейновской теории тяготения. Не касаясь математической стороны работы, можно отметить, как ее важный общий результат, доказательство того, что в системе материальных точек из уравнений теории тяготения вытекает не только ньютоновский закон взаимного притяжения между массами, но и ньютоновский закон движения каждого из тел системы под влиянием остальных.

В теории квантов, после успеха квантования обобщенной модели водородоподобного атома (эллиптические орбиты), выдвинулась проблема отыскания общих принципов квантования систем со многими степенями свободы. Эта проблема решалась с помощью выдвинутой Эренфестом гипотезы «адиабатических инвариантов». Наиболее полное и глубокое развитие получила эта теория в обширной работе Ю. А. Круткова, опубликованной в виде монографии «Адиабатические инварианты и их применение в теоретической физике».

Современная квантовая механика, или, как вначале ее называли, новая квантовая механика (разумея под старой теорию Бора — Зоммерфельда), была создана в середине двадцатых годов в появившихся в быстрой последовательности работах Л. Де Бройля, Э. Шредингера, В. Гейзенберга, П. А. М. Дирака. С момента формулирования основных идей и уравнений квантовой механики советские теоретики приняли самое активное участие в разработке приближенных методов решения уравнения Шредингера и в применениях методов квантовой механики к решению разнообразнейших частных проблем. В этом разделе мы, как сказано, останавливаемся только на итогах работ, имеющих наиболее общий характер.

К числу таких работ относятся работы В. А. Фока, посвященные развитию приближенного метода решения урав-



нения Шредингера для многих тел. Как известно, уравнение Шредингера в принципе позволяет решить любую задачу квантовой физики. Однако для системы многих тел задача быстро становится настолько сложной, что точное решение ее практически невозможно. Но в абсолютно точном решении таких задач и нет надобности, поскольку результаты измерений всегда имеют ограниченную точность. Поэтому важнейшее значение имеют хорошие приближенные методы. В квантовой механике таким надежным методом является так называемый метод Хартри — Фока, предложенный сначала Хартри, но столь радикально улучшенный В. А. Фоком, что его теперь часто называют просто методом Фока. В основе этого метода лежит модель так называемого «самосогласованного поля», в котором, например, при решении задачи о многоэлектронном атоме движение каждого электрона рассматривается как движение в поле ядра плюс усредненное поле, создаваемое остальными электронами. Коренное улучшение, внесенное В. А. Фоком, приводит к уравнениям для волновых функций отдельных электронов, содержащим, кроме членов, входящих в прежние уравнения, еще и члены, соответствующие взаимодействию между электронами, а именно — обменному взаимодействию. Решение этих уравнений позволяет для случая атома вычислить уровни энергии и интенсивности спектральных линий. С помощью этого метода В. А. Фоком и М. А. Петрашень была, например, решена задача об атоме натрия, причем было найдено значение основного терма и ионизационного потенциала натрия с точностью до 2%. Не следует забывать, что все эти расчеты велись в двадцатых годах, когда современные счетные машины отсутствовали.

К числу основоположных работ, в которых решались общие проблемы квантовой физики, принадлежит работа Л. И. Мандельштама и М. А. Леонтовича о поведении квантовой частицы при наличии в пространстве потенциального барьера. Эта работа содержала основы теории «туннельных переходов» — совершенно своеобразного явления, как известно, играющего важнейшую роль в бесчисленных процессах атомного или ядерного масштаба, т. е. процессах, принадлежащих к числу основных явлений в атомной физике и электронике.

В последние годы усилия теоретиков были направлены на разработку релятивистской квантовой механики и кван-



товой электродинамики или, точнее, квантовой теории поля вообще (имея в виду не только электромагнитное, но и мезонные поля). В этих сложнейших проблемах, связанных с применением самых рафинированных математических методов, советские теоретики чувствуют себя «как дома» и вносят существенные вклады (работы Н. Н. Боголюбова, Л. Д. Ландау, И. Е. Тамма, М. А. Маркова, И. Я. Померанчука и их учеников). Без какой-либо претензии на то, чтобы дать хотя бы отдаленное представление о полученных здесь результатах, упомянем о развитом И. Е. Таммом приближенном методе решения уравнений квантовой мезодинамики, отличном от обычно применяемой теории возмущений (так называемый метод Тамма — Данкова; ранее аналогичный метод был применен В. А. Фоком для решения некоторых задач квантовой электродинамики).

В области общих проблем термодинамики и статистики большое значение имели работы Л. Д. Ландау по термодинамической теории фазовых превращений 2-го рода, к числу которых относятся некоторые превращения в сплавах, превращения ферромагнетиков в парамагнетики и вообще превращения, связанные с «точками Кюри».

Фундаментальные работы по основам статистической механики опубликованы Н. Н. Боголюбовым и М. А. Леоновичем. Статистической теории необратимых процессов были посвящены работы Б. И. Давыдова и др.

В наши дни исследование новых нестабильных частиц ( $K$ -мезоны, так называемая  $\tau$ — $\theta$ -проблема) принесло новый сюрприз в добавление к тем сюрпризам, которые уже не раз приносила физика XX века в теории относительности и в квантовой механике. Установленные экспериментально кажущиеся противоречия в поведении  $K$ -мезонов были объяснены китайскими физиками Ли и Янгом (работающими в США) нарушением при распаде  $K$ -мезонов одного из важнейших законов сохранения, а именно закона сохранения «четности». Суть принципа сохранения четности, наглядно говоря, выражается в требовании «право-левой» симметрии объекта или явления, иначе — в требовании, чтобы объект и его зеркальное изображение совпадали между собой или, наконец, в требовании инвариантности законов природы относительно зеркального отображения. Выдвинутое вначале в качестве гипотезы для объяснения специального случая — распада  $K$ -мезонов — нарушение принципа сохранения четности в так называемых «слабых взаимодействиях» было

вскоре совершенно убедительно показано экспериментами Ву и группы сотрудников Национального Бюро стандартов США с  $\beta$ -распадом ориентированных ядер  $\text{Co}^{60}$ .

В связи с этой проблемой Л. Д. Ландау выдвинул чрезвычайно интересный принцип, в силу которого право-левая асимметрия связывается с электрическим зарядом. Это значит, что если частице с положительным зарядом, например протону, присуща пространственная асимметрия определенного типа, скажем, правый винт, то антипротону, имеющему отрицательный заряд, должна быть свойственна противоположная асимметрия, т. е. левый винт. Поскольку зеркальным отражением правого винта является левый винт, частицы и античастицы как бы переходят друг в друга при зеркальном отражении. Таким образом, существующие в природе две асимметрии — асимметрия электрического заряда и пространственная право-левая асимметрия комбинируются в некий новый высший тип симметрии, проявляющийся в принципе, названном Ландау «принципом комбинированной четности», в силу которого зеркальное изображение любого процесса есть также возможный процесс, при условии, что все заряды будут заменены противоположными. В этой увлекательной области, где проявляются весьма глубокие, основные законы природы, мы стоим, возможно, накануне новых важных открытий.

### Атомное ядро и космические лучи

В этой важнейшей и вместе с тем и труднейшей области современной физики были достигнуты столь большие успехи, что они выдвинули Советский Союз на одно из самых первых мест в мировой науке. Лишь очень внешней характеристикой масштаба работ в этой области может служить число — 102 — весьма серьезных работ, представленных советскими физиками на Женевскую конференцию по мирным применениям атомной энергии 1954 г. Первая в мире атомная электростанция, разнообразнейшие работы с применением искусственно-радиоактивных изотопов, атомный ледокол «Ленин», важные исследования по физике частиц высоких энергий, выполненные на шестиметровом синхротроне, наконец, пущенный в 1957 г. самый большой в мире 10-миллиардный синхрофазотрон — таковы лишь наиболее яркие из достижений в области мирных применений ядерной энергии за последнее время. Однако успешная



экспериментальная и теоретическая работа в области физики атомного ядра велась в течение всех истекших 40 лет.

Перечислим важнейшие из выполненных в течение этого времени работы. Представление о том, что атомные ядра не содержат электронов, но состоят из положительно заряженных протонов и не имеющих зарядов нейтронов, было кратко сформулировано в 1932 г. Д. Д. Иваненко. Общепринятое в настоящее время представление о возникновении ядерных сил в результате обмена частицами было детально развито И. Е. Таммом (1934). Хотя первоначальное предположение о том, что обмен этот осуществляется через посредство электронов и нейтронов, ведет, как показали расчеты И. Е. Тамма, к допущению существования сил, по величине на много порядков меньших реальных сил, сдерживающих атомное ядро, основные идеи этой теории остались руководящими и поныне.

Большое количество работ в области ядерной физики и космических лучей выполнено физиками-экспериментаторами. Многочисленные работы на первых этапах изучения космических лучей были осуществлены Л. В. Мысовским. Им же совместно с Чижовым был разработан (1925) получивший в последние годы широкое распространение метод фотопластинок для изучения быстрых частиц. Этот метод, усовершенствованный А. П. Ждановым, позволил последнему, а также П. И. Лукирскому и Н. А. Перфилову, обнаружить «звезды», создаваемые в фотоэмульсии космическими лучами. К числу наиболее важных работ в области космических лучей принадлежат исследования Д. В. Скобельцына, которому в 1927 г. впервые удалось наблюдать в камере Вильсона ливни космических частиц. Использованный в этих работах метод камеры Вильсона, помещенной в магнитное поле, получил с тех пор широкое применение в работах по физике космических лучей.

Здесь следует отметить, что камера Вильсона в сильном магнитном поле впервые была использована П. Л. Капицей в работе по изучению природы  $\alpha$ -частиц, выполненной им во время заграничной командировки в лаборатории Резерфорда в 1923 г. Примененный в этой работе метод получения сверхсильных магнитных полей был впоследствии развит и значительно усовершенствован П. Л. Капицей в ряде работ, ставших в настоящее время классическими.

Обширные работы по изучению явлений, возникающих при взаимодействии первичных космических лучей с яд-

рами атомов, были выполнены в последние годы (Д. В. Скобельцын, Н. А. Добротин, Г. Т. Зацепин, С. Н. Вернов).

Одним из ряда важных результатов этих работ является открытие так называемых электронно-ядерных ливней. Это открытие существенным образом углубило наши представления о каскадном механизме возникновения ливней, так как оно показало, что начальным звеном каскада являются не электромагнитные, но электронно-ядерные процессы при высоких энергиях. Большое число важных результатов было получено в высокогорной лаборатории на Памире, организованной Физическим институтом АН СССР.

А. И. Алиханов и А. И. Алиханян, организовавшие высотную лабораторию для изучения космических лучей на горе Алагез в Армении и построившие масс-спектрограф для определения масс космических частиц, явились пионерами в изучении мезонов разных масс.

Большое принципиальное значение имел опыт А. И. Алиханяна, А. И. Алиханова и Л. А. Арцимовича (1936), в котором было определено показано выполнение закона сохранения импульса при аннигиляции электрон — позитрон. Наиболее точная проверка выполнения закона сохранения импульса при аннигиляции позитронов  $\beta^{\pm}$ -распада  $\text{Cu}^{64}$  была осуществлена позднее, в 1950 г., Н. А. Власовым и Б. С. Джелеповым. Ряд важных работ по экспериментальному исследованию  $\beta$ -распада ( $\beta$ -спектры, внутренняя конверсия) был выполнен А. И. Алихановым, А. И. Алиханяном и их сотрудниками с помощью магнитного  $\beta$ -спектрографа А. И. Алиханова. Важными этапами в экспериментальном доказательстве существования нейтрино были опыты А. И. Лейпунского, показавшие несоблюдение закона сохранения импульса в системе электрон — ядро отдачи.

Б. В. Курчатовым, И. В. Курчатовым, Л. И. Русиновым и Л. В. Мысовским было открыто (1935) замечательное явление ядерной изомерии радиоактивных элементов. На примере изотопов брома было показано, что существуют радиоактивные ядра, которые являются изотопами и изобарами, т. е. обладают в точности одинаковым составом, но имеют существенно различные периоды распада. Так, например, изотоп брома  $\text{Br}^{80}$  обнаруживает два периода: 18 мин. и 4,4 часа. Это явление оказалось очень распространенным среди радиоактивных ядер. Оно было названо ядерной изомерией ввиду некоторой аналогии с явлением, известным в органической



химии, где изомерными называются молекулы, имеющие одинаковый состав, но различное строение. Причина ядерной изомерии, однако, не в различии строения изомерных ядер, а в существовании для  $\gamma$ -излучения метастабильных уровней ядра, переход из которых в нормальное состояние более или менее сильно «запрещен»: вследствие малой вероятности перехода ядра, попавшие на такой метастабильный возбужденный уровень, будут разряжаться с испусканием  $\gamma$ -лучей в течение длительного промежутка времени.

После изобретения бетатрона советскими физиками было показано, что «потолок» для ускорения электронов этим прибором обусловлен тем, что подвергающиеся ускорению электроны в конечном счете, в силу законов классической электродинамики, должны начать терять энергию вследствие излучения электромагнитных волн (Д. Д. Иваненко, И. Я. Померанчук и А. А. Соколов, позднее — Л. А. Арцимович и И. Я. Померанчук). Как известно, видимое излучение (со сплошным спектром) было на самом деле открыто в США Поллоком с сотрудниками. Заметим попутно, что этот факт возникновения видимого излучения при движении электронов в магнитном поле по криволинейным траекториям недавно получил неожиданное применение в астрофизике. Именно, согласно гипотезе, сформулированной В. Л. Гинзбургом и И. С. Шкловским и подтвержденной последующими поляризационными измерениями, свечение со сплошным спектром, излучаемое туманностями — оболочками сверхновых звезд, объясняется как раз подобными движениями космических электронов в межзвездных магнитных полях. Согласно гипотезе, развиваемой В. Л. Гинзбургом и И. С. Шкловским, «магнитнотормозное» излучение заряженных частиц позволяет обнаружить области генерации космических лучей.

Решающий успех в построении современных мощных ускорителей, необходимых для исследования ядерных процессов, был достигнут благодаря работе В. И. Векслера, выдвинувшего и обосновавшего так называемый принцип автофазировки (1944). На основе этого принципа оказалось возможным преодолеть ограничение в использовании резонансных методов ускорения, обусловленное релятивистской зависимостью массы от скорости. Построенные на этом принципе приборы — синхротроны, фазотроны (или синхроциклотроны) и, наконец, синхрофазотроны — позволили перейти от энергий, измеряемых десятками миллионов элект-



рон-вольт, к энергиям во многие сотни миллионов и даже — миллиарды электрон-вольт. Так, например, синхроциклотрон Института ядерных проблем АН СССР дает потоки частиц с энергией до 700 Мэв.

Создание таких мощных установок, позволяющих в лабораторных условиях получать потоки частиц весьма больших энергий, приближающихся к энергиям космических лучей, дало возможность активно развивать новую область физики — физику частиц высоких и сверхвысоких энергий. Эта обширная область еще совсем молода — ее история едва насчитывает один десяток лет, ее предмет — исследование природы и свойств простейших структурных элементов вещества — нуклонов, мезонов, гиперонов. В эту новую науку, касающуюся самых глубоких свойств вещества, советские физики сделали существенный вклад. Их исследования взаимодействия элементарных частиц в широком интервале энергий велись в трех направлениях: изучалось упругое рассеяние нуклонов нуклонами (процессы рассеяния  $pp$ ,  $pn$  и  $np$ ), образование заряженных и нейтральных мезонов при соударениях нуклонов, взаимодействие  $\pi$ -мезонов с нуклонами. Все эти исследования дали много ценных сведений о структуре элементарных частиц и природе ядерных сил. Экспериментальные работы проводились в ряде институтов под руководством В. И. Векслера, В. П. Желепова, Б. М. Понтекорво, М. Г. Мещерякова, теоретические — под руководством И. Я. Померанчука и др.

Самым большим достижением в области получения частиц сверхвысоких энергий является пуск в ход (апрель 1957) гигантского синхрофазотрона Объединенного института ядерных исследований. Эта установка была создана совместной работой большого коллектива советских физиков и инженеров под руководством В. И. Векслера, Д. В. Ефремова, Е. Г. Комара, коллектива работников радиотехнической лаборатории Академии наук СССР во главе с А. Л. Минцем и при участии ряда других научно-технических учреждений (Физический институт АН имени П. Н. Лебедева, Всесоюзный электротехнический институт и др.). О масштабе и необычайной точности работы этой совершенно уникальной установки можно судить по следующим данным \*): вес кольцевого электромагнита син-

\*) Газета «Правда» от 11 апреля 1957 г.

хрофазотрона составляет 36 000 *m*, средний диаметр стального кольца достигает почти 60 *m*; давление внутри вакуумной камеры, откачиваемой 56 мощными насосами, падает до  $10^{-9}$  ат. Протоны, подвергающиеся ускорению, должны за 3,3 секунды сделать внутри этой вакуумной камеры 4,5 миллиона оборотов и пройти при этом путь в миллион километров. Для правильной работы этой установки необходимо управлять процессами включения и выключения системы «впрыскивания» частиц, включения ускоряющего радиочастотного напряжения в отдельных случаях с точностью до  $10^{-5}$  сек. На этой установке удалось сначала получить протоны с энергией 8,3 миллиарда электрон-вольт, а затем — 10 миллиардов электрон-вольт — самую высокую энергию, которую когда-либо удавалось искусственно создавать физикам \*). Как один из важных выводов, вытекающих из этого большого события, необходимо отметить, что промышленность СССР может теперь решать задачу создания современной сложнейшей технической базы для развития исследований в области ядерной физики.

Конец 30-х и начало 40-х годов характеризуются интенсивным развитием работ по изучению деления ядер тяжелых элементов. Ряд важных результатов, сыгравших существенную роль в решении задачи получения и использования ядерной энергии, был получен в это время советскими физиками. Как известно, в основе ядерных цепных реакций лежит процесс деления тяжелых ядер под действием нейтронов. Качественное объяснение этого явления с точки зрения электрокапиллярной модели было впервые дано в 1939 г. Я. И. Френкелем (одновременно и независимо это представление развивалось Н. Бором и Дж. Уиллером). В 1940 г. К. А. Петржаком и Г. Н. Флеровым было показано, что процесс деления урана происходит также спонтанно, хотя и с очень малой вероятностью. Вслед за этим Я. Б. Зельдович и Ю. Б. Харитон показали (1939—1940), что при небольшом обогащении естественной смеси изотопов урана легким изотопом  $U^{235}$  возможен цепной процесс с использованием обыкновенной воды в качестве замедлителя.

---

\*) Нелишне напомнить, что все расчеты движения частиц в такой установке, конечно, велись на основе релятивистской механики. Таким образом, пуск этой машины можно рассматривать как подтверждение формул специальной теории относительности вплоть до энергии 10 млрд. электрон-вольт.



В дальнейшем советскими учеными (И. В. Курчатов, А. И. Алиханов, В. С. Фурсов, А. П. Александров, Д. И. Блохинцев, Н. А. Доллежалъ и др.) было создано много экспериментальных ядерных реакторов для научно-исследовательских целей и проведены многочисленные исследования по важнейшим проблемам ядерной физики. Эти работы создали фундамент для развития прикладной ядерной физики. Важнейшим итогом здесь явилось создание ядерного оружия, а в области мирных применений — уже упомянутое развитие ядерной энергетики, причем опыт эксплуатации построенной в СССР первой атомной электростанции позволил наметить большую программу развития ядерной энергетической промышленности. Получение с помощью ядерных реакторов большого количества искусственных радиоактивных изотопов привело к широкому развитию метода «меченых атомов» в металлургии, биологии, медицине и сельском хозяйстве. Серьезные исследования были осуществлены с целью овладения регулируемой термоядерной реакцией. Здесь следует отметить теоретическую работу А. Д. Сахарова и И. Е. Тамма и эксперименты, проведенные под руководством Л. А. Арцимовича и М. А. Леонтовича, по мощным разрядам в разреженных газах. Путем концентрации разряда под действием собственного магнитного поля в тонкий плазменный шнур удалось впервые получить в лабораторных условиях температуру порядка 1 миллиона градусов и обнаружить возникновение свободных нейтронов.

Работы физиков и инженеров по овладению ядерной энергией могут быть по праву отнесены к числу наиболее серьезных достижений советской науки.

## Оптика

Большое значение этого отдела физики обусловлено, в частности, тем, что с ним сохраняет непосредственную связь оптическая промышленность, исключительно важная как с оборонной, так и с культурной точки зрения.

В интересной статье, написанной к 15-летию Государственного оптического института, Д. С. Рождественский охарактеризовал культурное значение оптической промышленности следующими яркими словами: «Распространенность оптики — признак высоты культуры. Микроскоп, фотографический аппарат, зрительная труба или бинокль всегда отме-



чали культурную семью. Оптическая промышленность — самая высокая промышленность и потому, что наиболее тонкая и трудная, и потому, что она быстрее всего ведет нас через микроскоп и зрительную трубу к культуре, подлинному научному материализму и к рассеянию предрасудков. Народы славятся именно своей оптической индустрией, как бы она ни была ничтожна по своим размерам: кто не знает фирмы Цейсса, гордости Германии» \*).

Каков же был уровень оптической промышленности в России до революции? По этому поводу мы имеем авторитетное свидетельство Д. С. Рождественского в той же статье; оно может быть кратко охарактеризовано словами: «относительно 1917 г. больше приходится отмечать то, чего тогда не было». Далее Рождественский перечисляет существовавшие в то время небольшие мастерские с общим числом рабочих менее 1000 человек (сюда же входили рабочие мастерских, производивших оптические приборы военного назначения). «Не было ни одного вычислителя оптических систем, и никто в России не занимался оптотехникой. Поэтому заводы мало разбирались в существе дела и могли только рабски копировать заграничные образцы. Нигде не производились очки, геодезические инструменты, фотографические аппараты и объективы, кинематографические аппараты, микроскопы, научные инструменты» \*\*).

Но уже в 1933 г., по данным, приведенным в той же статье, картина резко изменилась. Уже работало 7 заводов оптико-механической промышленности с 11 000 рабочих, производивших разнообразную номенклатуру оптических приборов военного, научного и бытового назначения. Если в 1917 г. не было ни одного вычислителя, то в 1933 г. в ГОИ было уже вычислительное бюро с несколькими десятками сотрудников, для которых «уже больше нет тайн и трудностей в сложном деле вычисления оптических систем вплоть до самых светосильных фотографических и микроскопических объективов». С тех пор прошло еще 25 лет, и теперь наша оптическая промышленность полностью обеспечивает всеми необходимыми приборами Советскую Армию, Военно-Морской Флот и авиацию, производит разнообразные вполне современные фотографические аппараты

\*) Д. С. Рождественский, Судьбы оптики в СССР. «XV лет Государственного оптического института». Сборник статей под редакцией С. И. Вавилова, ОНТИ, 1934, стр. 25.

\*\*\*) Д. С. Рождественский, цит. статья, стр. 19—20.

с превосходными объективами — вплоть до самых сложных, — сделанными из советского оптического стекла, разнообразными научными приборами — микроскопы, астрономические трубы, спектральную аппаратуру и т. п.

Огромную роль в этом бурном развитии оптической промышленности сыграл Государственный оптический институт имени С. И. Вавилова с его основателем Д. С. Рождественским и его преемником С. И. Вавиловым во главе.

Важнейшим сырьем для оптического производства является оптическое стекло. Царская Россия перед революцией, в разгаре первой мировой войны, оказалась в исключительно тяжелом положении, так как запасы необходимого для оснащения боевой техники оптического стекла, ввозившегося ранее из Германии, были ничтожными и были израсходованы в несколько месяцев. «В высшей степени своеобразное и трудное производство оптического стекла составляло к тому времени монополию лишь трех фирм на всем земном шаре и содержалось под величайшим секретом. В России нельзя было найти ни одного человека, хоть сколько-нибудь знакомого с этим вопросом, ни на каком языке нельзя было прочесть ни одной строчки, посвященной этой запретной теме» \*). Попытки варки оптического стекла, сделанные в 1916 г. по рецептам английской фирмы бр. Ченс, дали ничтожное количество стекла мало удовлетворительного качества. Одна из первых задач, которые поставила себе при организации ГОИ группа энтузиастов советской оптики во главе с Д. С. Рождественским, состояла в разработке своих собственных методов варки оптического стекла, — методов, построенных на прочной основе широких научных физико-химических исследований этого своеобразного процесса, а не в виде «чего-то вроде замысловатого фокуса, охраняемого строжайшими секретами» \*\*), каким была рецептура варки у зарубежных фирм. Заслуга разработки и усовершенствования этих методов принадлежит большому коллективу научных работников, в особенности И. В. Гребенщикову, Н. Н. Качалову, А. А. Лебедеву, А. И. Стожарову. Контроль процесса был очень облегчен благодаря разработанному И. В. Обреимовым остроумному методу быстрого определения показателя преломле-

\*) И. В. Гребенщиков и Н. Н. Качалов, Сборник «XV лет Государственного оптического института», стр. 160—161.

\*\*\*) И. В. Гребенщиков и Н. Н. Качалов, цит. статья, стр. 170.



ния стекла в виде куска неправильной случайной формы. Благодаря всем этим работам уже в 1925 г. Советский Союз мог полностью отказаться от импорта оптического стекла.

Для развития прикладной оптики большую роль сыграло создание советской школы оптиков-вычислителей (А. И. Тудоровский, Г. Г. Слюсарев, Е. Г. Яхонтов и др.). Были разработаны оригинальные методы расчета и составлены вспомогательные таблицы, облегчающие выбор сортов стекла и ход расчета. Построение отражательных объективов (Е. М. Брумберг и С. А. Гершгорин) позволило создать оригинальный тип ультрафиолетового микроскопа (Е. М. Брумберг). Совершенно своеобразная конструкция астрономических телескопов — зеркально-менниковая — создана Д. Д. Максutowым (1941). Был разработан также ряд оригинальных конструкций фотографических объективов (М. М. Русинов, Д. С. Волосов и др.). Остроумные методы контроля оптических систем были предложены В. П. Линником; ему же и А. А. Лебедеву принадлежит ряд оригинальных конструкций оптических приборов. Особо следует отметить создание и промышленную разработку всех типов спектральной аппаратуры, полностью обеспечившее многочисленные заводские лаборатории, научно-исследовательские институты и учебные заведения. Наконец, важнейшим достижением последнего времени явилось создание в ГОИ под руководством Ф. М. Герасимова советских дифракционных решеток высокого качества.

Важным разделом прикладной оптики является светотехника и непосредственно с ней связанная фотометрия. В области теоретических основ светотехники большое значение имеет разработанная советскими учеными, в особенности В. А. Фоком, А. А. Гершуном, М. М. Гуревичем и Н. В. Болдыревым теория светового поля. В этой теории задача светотехники, т. е. задача о рациональном освещении, решается по образцу общей физической теории поля с введенным «плотности световой энергии», «светового вектора» и с последующим математическим развитием теории с помощью векторного анализа. Значение этих работ ярко формулировал редактор вышедшего в США английского перевода книги А. А. Гершуна «Теория светового поля» Парри Мун, который подчеркнул, что изложенная в этой книге одним из ее пионеров теория представляет собой первый важный шаг в фотометрии со времени работ П. Бугера (т. е. с середины XVIII столетия).





Д. С. РОЖДЕСТВЕНСКИЙ

В области физической оптики работы советских физиков многочисленны и разнообразны. Выше уже упоминались классические работы Д. С. Рождественского по аномальной дисперсии в парах натрия, выполненные еще до революции. В этих работах Рождественский развил остроумный «метод крючков», позволивший удобно и быстро изучать дисперсию в парах металлов и извлекать из этих измерений точные значения вероятностей перехода и интенсивностей спектральных линий. Благодаря дальнейшему усовершенствованию методики, а именно построением флюоритового интерферометра, спроектированного Д. С. Рождественским, ученики его В. К. Прокофьев и А. Н. Филиппов могли расширить исследование аномальной дисперсии в ультрафиолетовую область и получили ряд ценных результатов.

В области атомной спектроскопии выдающееся значение имели работы Д. С. Рождественского, опубликованные еще в 20-х годах. В этих работах, на примере атома лития и других щелочных металлов, было показано близкое сходство высших уровней этих одновалентных атомов с термами водородоподобных атомов. На этой основе была отчетливо формулирована так называемая модель излучающего электрона. Далее, путем сравнения спектра ионизированного магния со спектром гелия был установлен так называемый «спектроскопический закон смещения», согласно которому спектр однократно ионизированного атома с атомным номером  $Z$  аналогичен спектру нейтрального атома с атомным номером  $Z - 1$ .

Два обстоятельства следует отметить в связи с этими работами Д. С. Рождественского. Во-первых, хотя работы Рождественского были основаны целиком на теории атома Бора, модель оптического электрона и спектроскопический закон смещения полностью сохранили свое эвристическое значение и служат руководящей нитью для экспериментаторов-спектроскопистов и до сих пор. Во-вторых, в историческом аспекте эти работы имели особое значение для советской физики. Они были сделаны в период блокады, в полном отрыве советских ученых от зарубежной науки. И хотя после снятия блокады стало известно, что те же результаты были получены Зоммерфельдом, Шредингером и другими западными учеными, тот факт, что молодая советская наука в полном отрыве от сложившихся зарубежных научных школ сумела поставить и разрешить важнейшие проблемы

того времени, послужил для нас источником радости и веры в свои силы.

Важнейшим организационным результатом этих работ явилось создание вокруг Рождественского блестящей школы советских спектроскопистов (А. Н. Теренин, С. Э. Фриш, Е. Ф. Гросс, А. Н. Филиппов, В. К. Прокофьев, М. А. Вейнгеров и др.). Отметим вошедшие в обиход современной спектроскопии результаты работ этой школы.

Конечная цель спектроскопического исследования состоит в установлении системы термов атома, т. е. схемы его уровней энергии. Эта схема уровней может быть проверена прямым экспериментом путем возбуждения атома до определенного верхнего состояния и установления последующих переходов вниз. Самое возбуждение может быть осуществлено либо путем электронного удара, либо оптическим путем, если заставить атомы поглощать кванты строго определенной частоты. В двадцатых годах большой популярностью пользовался метод электронного удара, с таким успехом примененный в классических работах Дж. Франка и Г. Герца. Однако, при всем значении первых работ в этом направлении, последующие работы давали результаты довольно грубые в количественном отношении, а в качественном — далеко не всегда допускали ясную интерпретацию. Гораздо более тонким является метод оптического возбуждения. Он был широко использован А. Н. Терениным в ряде его образцовых работ. Благодаря различным усовершенствованиям, внесенным А. Н. Терениным в экспериментальную технику, ему удалось детально исследовать схемы уровней и проследить переходы между различными уровнями целого ряда атомов — ртути, кадмия, таллия, висмута, свинца, цинка, а также изучить так называемое ступенчатое возбуждение, при котором уже возбужденный атом поглощает еще один квант энергии и переходит на более высокий уровень. В наши дни все эти представления в такой степени вошли «в плоть и в кровь» физиков, что даже трудно себе представить, сколь велико было значение описанных работ, с предельной ясностью позволивших осознать поток новых идей, хлынувших в спектроскопию с развитием квантовой теории атома.

Важным результатом отмеченного цикла работ было открытие А. Н. Терениным и Л. Н. Добрецовым наряду с тонкой еще и сверхтонкой структуры линий натрия и А. Н. Терениным и Е. Ф. Гроссом — сверхтонкой структуры ли-



ний ртути (одновременно и независимо от советских исследователей сверхтонкая структура была открыта Шюлером в Германии). Принципиальное значение этого на первый взгляд весьма специального результата состоит в том, что путем изучения сверхтонкой структуры оказалось возможным установить такие свойства атомного ядра, как его механический момент (спин) и магнитный момент. До сравнительно недавнего времени этот оптический метод был и единственным путем для определения этих важных констант ядра. Обширные исследования сверхтонкой структуры атомных линий были произведены С. Э. Фришем.

От оптического возбуждения атомов естественен переход к изучению оптического возбуждения молекул. В этой области важное принципиальное значение имеют исследования А. Н. Теренина и его сотрудников, выяснившие путем спектроскопического изучения возбужденных молекул механизм элементарного фотохимического акта. Здесь следует обратить внимание на то, что, хотя изучение фотохимических процессов имеет длительную историю, до развития современной спектроскопии с ее совершенными экспериментальными методами и ясными теоретическими предпосылками даже основная проблема механизма элементарного фотохимического акта не могла быть отчетливо физически формулирована. Между тем речь идет в данном случае о весьма конкретной физической проблеме механизма превращения энергии электронного возбуждения молекулы полностью или отчасти в колебательную энергию атомов с последующим распадом. При этом огромная чувствительность спектроскопической методики, неизмеримо превосходящая обычные химические методы анализа, не только позволяет тончайшим образом улавливать самый факт распада, но и дает возможность устанавливать состояние, в котором освобождаются продукты распада. В самом деле, когда один из продуктов распада освобождается с достаточной энергией, обломки молекул становятся видимыми по испускаемому ими свечению, спектральный состав которого указывает их энергетическое состояние. По выражению А. Н. Теренина, спектроскопическая методика позволяет не только улавливать продукты распада *in statu nascendi*, но, что еще важнее,— *in statu luminescendi*. В этих работах была применена весьма совершенная техника: мощная десятикиловаттная разрядная водородная трубка давала интенсивнейшее излучение

вплоть до крайнего ультрафиолета, где энергия фотонов составляет 150—200 ккал, а для идентификации продуктов распада, кроме спектроскопического, использовались и разнообразные другие тонкие методы.

Многочисленные работы по оптической диссоциации, преддиссоциации, индуцированной преддиссоциации были опубликованы также В. Н. Кондратьевым.

В последние годы интерес исследователей от простейших двухатомных молекул переместился в сторону сложных, в особенности органических молекул. Отметим интересные работы Б. С. Непорента по исследованию и интерпретации широких полос поглощения в парах органических соединений.

Напротив, в твердом состоянии при крайних степенях охлаждения органические кристаллы и замороженные растворы при определенных условиях дают спектры, состоящие из резких линий. Очевидно значение исследования спектров сложных молекул именно в этих условиях, когда, с одной стороны, проявляются индивидуальные свойства молекул, а с другой — открывается возможность прослеживания тонких воздействий кристаллического поля на излучающую молекулу. Изучение спектров поглощения, люминесценции, а также дисперсии ряда ароматических углеводородов в кристаллическом состоянии (И. В. Обреимов, А. Ф. Прихотько и их сотрудники) и в замороженных растворах некоторых специальных растворителей (Э. В. Шпольский с сотрудниками) открывает многообещающие пути для глубокого исследования этих важных молекул. Развитая А. С. Давыдовым теория спектров молекулярных кристаллов служит в настоящее время основой для интерпретации результатов многочисленных работ по спектроскопии сложных молекул, выполненных в СССР и за границей.

Явления флуоресценции в растворах и твердых телах, процессы длительного свечения — фосфоресценция — с теоретической и практической точек зрения представляют большой интерес. И в этой области советскими физиками сделан весьма значительный вклад. В работах С. И. Вавилова, В. Л. Левшина и их сотрудников флуоресценция в растворах подверглась всестороннему и тщательному изучению. Прежде всего, С. И. Вавилов изучил выходы флуоресценции — растворов красителей. При этом оказалось, что энергетический выход флуоресценции во многих случаях близок к 100%, а квантовый выход и длительность возбуж-



денного состояния не зависят от возбуждающей длины волны. Эта закономерность, играющая важную роль в выяснении механизма флуоресценции сложных молекул, носит название закона Вавилова.

Открытое Ф. Вейгертом в 1920 г. замечательное явление поляризации флуоресценции было подвергнуто С. И. Вавиловым и В. Л. Левшиным в ряде фундаментальных работ всестороннему исследованию. Интерес этого явления состоит в его несомненной связи со строением излучающих молекул и в его необычайной чувствительности ко всякого рода возмущающим влияниям на излучающую молекулу. Благодаря этому та или иная степень поляризации флуоресценции может служить тончайшим признаком молекулярных взаимодействий.

Особенно важной и интересной оказалась открытая С. И. Вавиловым резкая зависимость степени поляризации от возбуждающей длины волны, причем для некоторых длин волн поляризация флуоресценции даже меняет знак, т. е. становится отрицательной. Благодаря существованию этой зависимости открывается возможность установления новой характеристики свойств молекул, столь же важной, как и спектры поглощения и излучения, именно — спектров поляризации, знание которых позволяет делать заключения о строении флуоресцирующих молекул. Возможности, которые открывает знание спектров поляризации флуоресценции, продемонстрировал ученик С. И. Вавилова П. П. Феофилов, изучивший и интерпретировавший спектры поляризации большого числа сложных органических молекул. П. П. Феофилову принадлежит также обширный ряд работ по поляризации люминесценции в кристаллах и растворах.

В работах С. И. Вавилова и его сотрудников (И. М. Франк, Б. Я. Свешников) детально изучены также явления тушения флуоресценции растворов посторонними бесцветными солями и явления самотушения, наблюдаемые при больших концентрациях растворов флуоресцирующих веществ. С. И. Вавиловым была дана полная феноменологическая теория этих явлений.

В. Л. Левшин обосновал обширным экспериментальным материалом закон «зеркальной симметрии» спектров флуоресценции и абсорбции. В первоначально установленной Левшиным форме этот закон имеет место для кривых, представленных в шкале частот. Недавно Б. С. Непорент показал, что существует целый класс сложных органических



молекул, для которых зеркальная симметрия в шкале частот отсутствует, но имеют место другие соотношения между спектрами. Ряд теоретических вопросов, относящихся к люминесценции сложных молекул, исследован Б. И. Степановым.

Отметим возникновение в самые последние годы двух новых центров, где ведутся исследования в области молекулярной люминесценции и спектроскопии: в Институте математики и физики Белорусской Академии наук в Минске (А. Н. Севченко, Б. И. Степанов, М. А. Ельяшевич и их сотрудники) и в Тартуском университете в Эстонии (Ф. Клемент, М. А. Москвин и др.).

Наряду с обычной флуоресценцией, характеризуемой длительностью свечения порядка  $10^{-8}$  сек., органические вещества, в частности красители в «жестких» средах, например в твердых растворах в борной кислоте, в сахарных леденцах или в замороженных растворах в органических растворителях, дают длительное свечение со временем жизни, измеряемым секундами. При этом, при низких температурах излучаемая область спектра сильно смещается в сторону длинных волн. Это явление фосфоресценции органических соединений также изучалось советскими исследователями (С. И. Вавилов, Б. Я. Свешников, П. П. Дикун). После того, как польский физик А. Яблонский дал правильное феноменологическое объяснение этого длительного свечения, как результата существования метастабильного уровня, расположенного между нормальным и первым возбужденным уровнями, А. Н. Теренин вскрыл физический механизм этой метастабильности. Согласно этому объяснению метастабильный уровень является триплетным, т. е. спины одной пары электронов располагаются параллельно, тогда как основной уровень — синглетный вследствие антипараллельности спинов его электронов; ввиду этого длительность свечения есть следствие запрета интеркомбинационного перехода триплет — синглет. Это объяснение недавно получило прямое экспериментальное подтверждение в ряде работ зарубежных исследователей (Г. Н. Льюис, М. Каша и М. Кальвин, Д. Эванс), показавших, что в «фосфоресцентном» состоянии молекула становится парамагнитной, тогда как в нормальном состоянии она диамагнитна. В самое последнее время начало выясняться, что подобные длительно находящиеся в возбужденном состоянии «триплетные», или иначе «бирадикальные»

молекулы, по-видимому, играют существенную роль в некоторых важнейших биологических процессах.

Заслуживает упоминания также ряд работ по экспериментальному определению длительности возбужденного состояния (длительность свечения) при люминесценции. Л. А. Тумерман, а впоследствии в более усовершенствованном виде — А. М. Бонч-Бруевич, построили флуорометры — установки, с помощью которых в последнем варианте может быть определена длительность свечения вплоть до  $10^{-11}$  сек. Очень ценный прибор для быстрых определений длительности (так называемый «тауметр») построили Н. А. Толстой и П. П. Феофилов.

Люминесценция кристаллофосфоров также подверглась многочисленным исследованиям со стороны советских физиков (В. В. Антонов-Романовский, В. Л. Левшин и др.). Отметим обширные и в высшей степени тщательные исследования закона затухания цинк-сульфидных фосфоров, выполненные советскими физиками. Результаты этих исследований, имеющих основное значение для суждения о механизме фосфоресценции, прочно вошли в обиход работающих в этой области экспериментаторов и теоретиков, как наиболее надежный материал \*).

Современная теория люминесценции кристаллофосфоров основана на так называемой зонной теории кристаллов. Эта теория, лежащая в основе современных представлений об электрических свойствах твердых тел, оказалась в высшей степени плодотворной для понимания механизма свечения кристаллофосфоров. Несмотря на свой приближенный характер, зонная теория является в настоящее время необходимой рабочей картиной для теоретиков и экспериментаторов, занимающихся исследованиями и техническими применениями кристаллофосфоров. Ценность этой теории для интерпретации законов люминесценции, в частности для кинетики послесвечения кристаллофосфоров, была показана в ряде работ Д. И. Блохинцева, С. И. Пекара, Э. И. Адировича.

Экспериментальные и теоретические исследования в области люминесценции кристаллофосфоров, разработка технологии изготовления кристаллофосфоров, исследование условий свечения при газовом разряде помогли промыш-

---

\*) См., например, Н. М о т т и Р. Г е р н и, Электронные процессы в ионных кристаллах, гл. VI, Гостехиздат, 1950.



ленности освоить изготовление экономичных ламп «дневного света», получающих все более широкое распространение.

Успехи атомной спектроскопии создали прочную базу для развития качественного и количественного атомного спектрального анализа. Неизмеримо превосходящие по скорости обычные методы химического анализа, методы атомного спектрального анализа нашли широчайшие применения в металлургической и машиностроительной промышленности, в анализе руд и минералов и в ряде других областей. В настоящее время ни одно из этих производств не обходится без лаборатории спектрального анализа, а число анализов, выполняемых ежегодно при геологических работах, измеряется миллионами. Заслуга развития и внедрения различных методов спектрального анализа, содействия проектированию и построению всех видов современной спектральной аппаратуры и вспомогательных приборов спектрального анализа принадлежит как московской (Г. С. Ландсберг, С. Л. Мандельштам, Н. Н. Соболев, А. К. Русанов и др.), так и ленинградской (А. Н. Филиппов, В. К. Прокофьев, С. Э. Фриш и др.) школам физиков.

В последнее время наряду с методами атомного спектрального анализа все большее значение и распространение начинают приобретать методы молекулярного спектрального анализа (инфракрасные и ультрафиолетовые спектры поглощения, спектры комбинационного рассеяния, люминесцентный спектральный анализ). Для этих методов открывается новое обширное поле применений: медицина и биология, нефтяная, фармацевтическая, пищевая промышленность, сельское хозяйство. Большая заслуга разработки и внедрения соответствующих методов принадлежит В. М. Чулановскому.

Необходимо отметить выдающуюся роль Комиссии по спектроскопии Академии наук СССР и Г. С. Ландсберга, ее бессменного председателя с момента создания Комиссии до своей недавней кончины (1957), в объединении работников, координировании тематики, создании центров в главных министерствах и в стимулировании создания отечественной аппаратуры высокого качества.

Молекулярное рассеяние света является областью, в которой советским физикам принадлежат важнейшие достижения. Напомним, прежде всего, что самый факт существования молекулярного рассеяния долгое время подвер-



гался сомнению. Потребовались работы таких выдающихся ученых, как лорд Рэлей, М. Смолуховский, А. Эйнштейн, чтобы выяснить те условия, при которых возможно молекулярное рассеяние света. Большую ясность в дискуссию этого трудного вопроса внесли тонкие работы Л. И. Мандельштама, выполненные до революции. В 1920 г. французскому физику Кабанну впервые удалось воспроизвести синеву неба в лаборатории, т. е. воспроизвести и детально исследовать истинное молекулярное рассеяние в газах. Вскоре после этого, в 1927 г., Г. С. Ландсберг безупречно доказал существование молекулярного рассеяния в твердом теле — в кристаллическом кварце. Продолжая исследование этого явления, Г. С. Ландсберг и Л. И. Мандельштам в 1928 г. открыли, что в спектре молекулярно рассеянного света наряду с несмещенными возбуждающими спектральными линиями наблюдаются также и линии, смещенные в красную и фиолетовую стороны. Открытие этого явления, которое в СССР обычно называют комбинационным рассеянием света, является одним из важнейших и наиболее плодотворных открытий в физике XX столетия. Оно послужило стимулом к огромному количеству работ, исчисляемому тысячами и выполненными во всех решительно странах. Основанный на комбинационном рассеянии метод экспериментального определения собственных частот колебаний молекул открыл огромные возможности для физики, физической химии, химии неорганической и органической.

Как известно, открытие комбинационного рассеяния почти одновременно с Ландсбергом и Мандельштамом и независимо от них было сделано в Индии Раманом и Кришнаном, которые опубликовали свое первое сообщение раньше советских ученых. Ввиду этого, по установившейся традиции, в зарубежной литературе самое явление обычно называют эффектом Рамана. Однако это чисто техническое обстоятельство — срок опубликования — несколько не умаляет заслуги советских физиков, которым принадлежит, помимо факта открытия нового явления, большая заслуга построения строгой теории его (Л. И. Мандельштам, М. А. Леонтович, Г. С. Ландсберг, И. Е. Тамм).

Тот факт, что молекулярное рассеяние света может быть связано с изменением длины волны, не был неожиданностью для советских ученых. Рассматривая молекулярное рассеяние как интерференционное отражение света на дебаевских упругих тепловых волнах, Л. И. Мандельштам,

а также Л. Бриллюэн независимо друг от друга показали еще в 1918 г., что при таком рассеянии в среде с показателем преломления  $n$  возбуждающая волна  $\lambda_0$  должна испытать расщепление на две волны, смещенные относительно  $\lambda_0$  на величину

$$\Delta\lambda = \pm 2\lambda_0 n \frac{v}{c} \sin \frac{\theta}{2},$$

где  $v$  — скорость звука в среде и  $\theta$  — угол рассеяния. Ввиду присутствия множителя  $\frac{v}{c}$  смещение  $\Delta\lambda$  на порядок величины меньше смещения в комбинационном рассеянии. Однако и этот более тонкий эффект был обнаружен экспериментально Е. Ф. Гроссом.

Большой интерес представляют также работы Е. Ф. Гросса, М. Ф. Вукса и их сотрудников, посвященные исследованию так называемых «крыльев» рэлеевского рассеяния. Эти исследования привели к открытию очень медленных колебаний (частоты порядка  $50 \text{ см}^{-1}$ ), которые приписываются колебаниям целых молекул относительно друг друга в кристаллической решетке. Исследование этих так называемых «гроссовских» колебаний пролило свет на природу жидкого и кристаллического состояний.

М. А. Ельяшевич и Б. И. Степанов развили теорию колебаний молекул и дали методы расчета частот и формы колебаний. М. В. Волькенштейн разработал теорию интенсивностей в колебательных спектрах (инфракрасных и спектрах комбинационного рассеяния), объяснившую установленные эмпирически закономерности в колебательных спектрах. Эти работы М. В. Волькенштейна, М. А. Ельяшевича и Б. И. Степанова суммированы в их двухтомной монографии «Колебания молекул».

Одно из важнейших открытий в области оптики было сделано в 1934 г. П. А. Черенковым, в то время аспирантом Физического института Академии наук СССР. Уже при первых наблюдениях над свойствами радиоактивных веществ супругами Кюри было обнаружено, что растворы некоторых минеральных солей под действием радиоактивных веществ испускают слабое свечение. Это свечение рассматривалось обычно как флуоресценция.

Однако П. А. Черенков показал в 1934 г., что под действием  $\gamma$ -лучей не только растворы (как, например, растворы ураниловых солей, флуоресценцию которых изучал



Черенков), но и чистые жидкости, как, например, дистиллированная вода, ксилол, толуол, глицерин, различные спирты — дают слабое свечение. По своим свойствам это свечение явно отличалось от флуоресценции: оно не испытывало тушения под действием наиболее сильных «гасителей» флуоресценции (раствор KI и др.), его поляризация была существенно отлична от поляризации флуоресценции. С. И. Вавилов, руководивший работой Черенкова, правильно усмотрел в этом свечении новый эффект, который он связал не с самими  $\gamma$ -лучами, но со свободными электронами, освобождаемыми в среде  $\gamma$ -лучами.

Полная количественная теория излучения Вавилова — Черенкова (в литературе она чаще называется «излучением Черенкова») была дана И. М. Франком и И. Е. Таммом (позднее, в более строгом виде — И. Е. Таммом) и во всех деталях подтверждена экспериментально П. А. Черенковым. Франк и Тамм объяснили происхождение этого излучения с точки зрения классической электромагнитной теории как волну, сопровождающую электрон, равномерно движущийся со скоростью, большей фазовой скорости света в данной среде, т. е. большей  $\frac{c}{n}$  ( $n$  — показатель преломления среды). Простое условие когерентности элементарных гюйгенсовых волн, возникающих при движении электрона в среде со скоростью  $\beta = \frac{v}{c}$ , есть

$$\cos \theta = \frac{1}{\beta n},$$

где  $\theta$  — угол, образуемый нормалью к фронту волны с направлением движения. Из этого следует, что электрон, движущийся со скоростью  $v > \frac{c}{n}$ , должен сопровождаться V-образной волной, наглядным аналогом которой может служить ударная волна в воздухе, сопровождающая полет снаряда со скоростью, большей скорости звука в воздухе, или носовая волна, сопровождающая движение корабля, когда его скорость превышает скорость волн на поверхности воды.

В. Л. Гинзбург дал квантовую трактовку эффекта Вавилова — Черенкова, применяя к испусканию фотона движущейся частицей законы сохранения энергии и импульса. Далее Гинзбург показал, что излучение Черенкова должно наблюдаться, когда заряженная частица движется вблизи



поверхности диэлектрика параллельно ей. При этом Гинзбург показал, что таким путем можно создать источник микроволнового электромагнитного излучения таких длин волн, которые трудно получать иным способом.

В последнее время на основе эффекта Черенкова были построены счетчики быстрых частиц, получившие чрезвычайно широкое распространение в ядерных исследованиях. Такой счетчик состоит просто из чистой жидкости (например, воды) или цилиндра из плексигласа и фотоумножителя, регистрирующего вспышку излучения.

Отметим, наконец, два принципиально важных эксперимента, наглядно обнаруживающих квантовую природу света. Первый эксперимент, выполненный А. Ф. Иоффе и Н. И. Добронравовым, обнаружил флуктуации «попадания» фотонов очень слабого рентгеновского излучения в ультрамикроскопическую заряженную висмутовую пылинку, подвешенную в милликэновском конденсаторе.

Второй эксперимент, выполненный С. И. Вавиловым с сотрудниками (Е. М. Брумберг, З. М. Свердлов), обнаружил статистические флуктуации числа фотонов видимого света, попадающих в глаз при предельно слабых интенсивностях (адаптированный на темноту глаз был выбран детектором ввиду его необычайной чувствительности, превосходящей чувствительность любых лабораторных устройств). Эти работы, помимо своего принципиального значения для установления природы света, открывают новый путь для изучения работы глаза.

Обзор работ, посвященных физической оптике, мы закончим работами, посвященными крайним областям спектра. Оптическая природа рентгеновских лучей была установлена открытием интерференции рентгеновских лучей в кристаллах. Однако классические интерференционные и дифракционные опыты трудно осуществимы с рентгеновскими лучами вследствие малой длины их волны. Несмотря на эту трудность, В. П. Линнику удалось осуществить с рентгеновскими лучами интерференционный опыт Ллойда, являющийся видоизменением опыта Френеля с двумя зеркалами, и по расстоянию интерференционных полос непосредственно определить длину волны рентгеновских лучей.

Область спектра, лежащая по другую сторону видимой части, а именно участок спектра между длинными инфракрасными и короткими электромагнитными волнами, была

открыта благодаря работам А. А. Глаголевой-Аркадьевой и М. А. Левитской, выполненным совершенно независимо друг от друга. Благодаря остроумному методу возбуждения лучей, лежащих в этой области, удалось обнаружить их с полной ясностью и таким образом заполнить последний пробел в единой шкале электромагнитных волн.

## Радиофизика и теория колебаний

История развития радиофизики в СССР во многом напоминает историю развития оптики. В том и другом случае мы имеем дело с дисциплиной, имеющей важнейшие применения для обороны и культуры страны, в том и другом случае, вопреки своей важности, эти дисциплины в дореволюционной России находились на низком уровне развития.

Правда, в начале XX столетия еще и не существовало радиотехники как отдельной технической науки, не существовало даже и терминов «радиофизика» и «радиотехника». Отдел физики, носивший название «Электромагнитные колебания и волны» с практическими применениями в виде «беспроволочной телеграфии», был еще очень молодым. Тем не менее, отставание в этой области дореволюционной России — страны, где А. С. Попов изобрел «беспроволочную связь», — было очевидно. Перед первой мировой войной в России не существовало ни специальных лабораторий, ни кафедр высших учебных заведений, где бы разрабатывались проблемы радиофизики, и не существовало своей национальной промышленности для «беспроволочной телеграфии». Как раз это последнее обстоятельство, связанное с зависимостью промышленности от иностранного капитала, и тормозило развитие радиофизики в России.

Некоторое оживление работ в области радиофизики возникло уже во время первой мировой войны (1914—1918) благодаря деятельности М. В. Шулейкина, Н. Д. Папалекси и их сотрудников. Отметим также выход первого оригинального руководства по радиофизике на русском языке — книги А. А. Петровского «Научные основания беспроволочной телеграфии». Но как и в области оптики, интенсивное развитие радиофизики и радиотехники началось после Октябрьской революции. Большую роль в первом этапе этого развития сыграла Нижегородская радиолaborатория, основанная по личному указанию В. И. Ленина под научным руководством М. А. Бонч-Бруевича. Следует



с благодарностью вспомнить также деятельность В. К. Лебединского, который принадлежал к группе основателей Нижегородской лаборатории и сыграл большую роль не столько своей творческой, сколько организационной, педагогической и литературной деятельностью. Вместе с тем, приблизительно в то же время возникает ряд радиофизических и радиотехнических центров в других городах, главным образом на вновь создаваемых кафедрах высших учебных заведений. Такова была кафедра М. В. Шулейкина в Москве, в тогдашнем МВТУ, кафедра Л. И. Мандельштама и Н. Д. Папалекси в Одессе, радиолaborатория, организованная А. А. Чернышевым, в Ленинградском Политехническом институте.

Наконец, в 1923 г. в Петрограде создается крупный центр — Центральная радиолaborатория, в работе которой приняли участие такие выдающиеся специалисты, как Д. А. Рожанский, Л. И. Мандельштам, Н. Д. Папалекси, М. А. Бонч-Бруевич и др. Здесь следует заметить, что, хотя ввиду огромного практического значения всех видов радиосвязи и быстрых успехов в этой области, радиотехника как особая, совершенно самостоятельная большая техническая наука очень скоро выделилась из физики, тесная связь радиотехники с физикой сохранилась, а некоторые проблемы, имеющие фундаментальное значение для радиотехники, такие, например, как проблемы общей теории колебаний или распространения радиоволн, по-прежнему решаются физиками. Так и произошло, весьма условно конечно, разделение радиотехники и радиофизики.

В области теории колебаний, значение которой для физики и техники далеко выходит за пределы одной только радиотехники, были достигнуты столь значительные успехи, что полученные в этой области результаты можно с полным правом отнести к числу наиболее ярких достижений советской физики за истекшие 40 лет. Выдающуюся роль в этих достижениях сыграли работы Л. И. Мандельштама, Н. Д. Папалекси и их обширной школы. Отметим также, что эти достижения явились плодом тесного сотрудничества физиков, математиков и инженеров.

Как известно, классическая теория колебаний есть прежде всего теория линейных колебаний, т. е. колебаний, подчиняющихся весьма простому, широко известному линейному дифференциальному уравнению. Несмотря на большую законченность этой классической





Л. И. МАНДЕЛЬШТАМ

теории, школе Мандельштама и Папалекси мы обязаны существенным подъемом научного уровня и в этой области. Этот подъем проявился в таких, например, вопросах, как обобщение и углубление, казалось бы, столь знакомого всем понятия, как понятие резонанса. Что понятие резонанса должно быть обобщено, видно из элементарного механического примера маятника, который может быть сильно раскачан либо привычным способом под действием периодической внешней силы, т. е. периодическим «подталкиванием» с периодом, равным собственному периоду маятника, либо путем периодического изменения длины маятника. Последний прием, который осуществляется также при раскачивании качелей, представляет собой наглядный пример так называемого параметрического резонанса, так как резонанс здесь достигается периодическим изменением параметров, какими являются длина и момент инерции качелей.

Другим примером параметрического резонанса может служить возбуждение колебаний в электрических колебательных системах путем периодического изменения емкости или индуктивности системы (без внешней э.д.с.). Этот случай особенно интересен потому, что углубленный анализ его, выполненный Л. И. Мандельштамом и Н. Д. Папалекси, привел их к открытию нового способа генерации переменных токов, осуществленного в построенных ими так называемых параметрических машинах.

Лет пятьдесят назад классическая теория линейных колебаний практически удовлетворяла все запросы физики и техники. Но с появлением такого важнейшего физического и технического устройства, каким является электронная лампа, действие которой в генераторах незатухающих колебаний, а также в качестве детектора, целиком основано на ее нелинейности, выдвинулась первостепенной важности задача разработки теории нелинейных колебаний.

Заслуга первоначального развития теории нелинейных колебаний принадлежит Ван-дер-Полю, создавшему научный центр по этим вопросам в Голландии. Однако в тридцатых годах, благодаря работам школы Мандельштама и Папалекси (А. А. Андронов, А. А. Витт, С. Э. Хайкин, Г. С. Горелик, С. М. Рытов, С. П. Стрелков и др.), центр тяжести работ в области нелинейных колебаний переместился из Голландии в СССР. Интересно отметить, что математический аппарат, необходимый для теории нелиней-

ных колебаний, как оказалось, существовал уже давно. Он заключался в работах Анри Пуанкаре, с одной стороны, и в работах замечательного русского математика А. М. Ляпунова — с другой. Однако ни тот, ни другой в своих работах не имели в виду теорию нелинейных колебаний. Пуанкаре развил свой математический аппарат для решения некоторых проблем небесной механики, а Ляпунов интересовался чисто математическими вопросами устойчивости решений дифференциальных уравнений. Заслуга установления связи проблем нелинейных колебаний с работами Пуанкаре и Ляпунова принадлежит А. А. Андронову, после появления работы которого началось интенсивное развитие как математических методов, так и физических приложений теории нелинейных колебаний.

Впоследствии были развиты и другие математические методы, адекватные задачам нелинейных колебаний. Так, например, был использован метод разложения в ряд по малому параметру — метод, разрабатывавшийся в связи с задачами небесной механики многими творцами классической механики от Эйлера и Лагранжа до Пуанкаре. Очень плодотворным оказался так называемый метод «припасовывания», состоящий в том, что входящая в задачу нелинейная зависимость аппроксимируется рядом прямолинейных отрезков, которые затем «сшиваются» с помощью соответствующих условий непрерывности.

Наряду с работами школы Мандельштама — Папалекси — Андронува широкая разработка математических методов и проблем теории нелинейных колебаний выполнена также в трудах Н. М. Крылова и Н. Н. Боголюбова, Ю. Б. Кобзарева, Б. В. Булгакова, К. Ф. Теодорчика.

Развитые в результате всех этих исследований эффективные методы получили многочисленные применения первоначально главным образом в области радиофизики, а затем и в целом ряде других областей, далеко отстоящих от радиофизики. Так, например, уже после Великой Отечественной войны теория нелинейных колебаний была распространена А. А. Андроновым и его школой на проблемы автоматического регулирования, в частности регулирования хода машин; с помощью той же теории были получены новые результаты в теории часов, теории действия автопилота. Эти же методы были с успехом применены к теории действия ускорителей заряженных частиц и к астрофизической проблеме звезд-цефеид, периодически меняющих



свой блеск. Более детальная характеристика всей этой области, столь же важной, сколько и интересной, далеко выходит за рамки настоящего общего очерка развития советской физики. Интересующиеся найдут ряд блестящих статей и лекций в собраниях сочинений Л. И. Мандельштама и Н. Д. Папалекси. Обширная монография по теории нелинейных колебаний, переведенная на иностранные языки и ставшая классической, написана А. А. Андроновым, А. А. Виттом и С. Э. Хайкиным.

Другая область радиофизики, в которой весьма успешно работали советские физики, есть важнейшая для всех видов радиопередач область теории распространения электромагнитных волн. Как известно, распространение радиоволн, создающее возможность радиосвязи на больших и малых расстояниях, с точки зрения физики обусловлено двумя явлениями — дифракцией и рефракцией, — относительная роль которых существенно зависит от расстояния, или, точнее, от отношения расстояния к длине волны. Вместе с тем, особенностью распространения волн в радиодиапазоне является, в отличие от оптики, близость излучателя (в масштабе длины волны) к границе раздела, например границе земля — воздух. Из-за этого математическая задача о распространении радиоволн настолько сложна, что ее решение потребовало усилий со стороны таких выдающихся представителей математической физики, как А. Зоммерфельд — в Германии и В. А. Фока — в СССР. При этом поводом для начала работ В. А. Фока послужило то, что он обнаружил в 1926 г. в известном решении Зоммерфельда, данном еще в 1909 г., довольно существенную ошибку, впоследствии признанную самим автором. В окончательном виде работа В. А. Фока, исправившая целый ряд неточностей прежних работ, была опубликована в 1933 г. Ряд других проблем, например задача о так называемой береговой рефракции, был решен в работах М. А. Леонтовича, Г. А. Гринберга и Е. Л. Фейнберга.

При исследованиях распространения радиоволн обычно интересовались исключительно амплитудой электромагнитных волн. Л. И. Мандельштам и Н. Д. Папалекси открыли новую область для плодотворных исследований, сосредоточив внимание на распространении фазы колебаний \*). В результате глубокого анализа особенностей

\*) Небезынтересно отметить, что внимание к фазе колебаний в совсем другой области длин волн электромагнитных колебаний, а имен-

интерференции радиоволн по сравнению с интерференцией в оптике они показали, как с помощью интерференции радиоволн можно измерять скорость распространения или расстояние при известной скорости распространения. В грубо схематизированном виде идея метода состоит в следующем: в некотором пункте *A* устанавливается радиостанция, излучающая незатухающие волны с постоянной амплитудой. Эти волны, дойдя до пункта *B*, отражаются в нем и возвращаются в пункт *A*, где их заставляют интерферировать с волнами, испускаемыми станцией *A*. При этом определяется сдвиг фазы отраженной волны относительно волны, испускаемой в *A*, причем результат интерференции наблюдается на экране катодного осциллографа. Так как сдвиг фазы по существу представляет собою измеренный в особых единицах промежуток времени, затрачиваемый на прохождение волны «туда и обратно», т. е. для прохождения удвоенного расстояния *AB*, то при известном расстоянии можно определить скорость распространения или, при известной скорости, расстояние. Эта схема при своем осуществлении на практике испытывает ряд усложнений: например, вместо отражения в *B*, в результате которого в *A* приходили бы слишком слабые колебания, волна, распространяющаяся «туда», управляет действием помещенного в *B* генератора, волны которого, трансформированные определенным образом по частоте, играют роль отраженных. Но все эти усложнения, в которых как раз и используются благоприятные особенности интерференции радиоволн, не меняют принципа метода.

В практическом осуществлении метод был использован и для измерения расстояний, и для измерения скорости распространения. Для измерения расстояний Мандельштамом и Папалекси был построен специальный прибор радиодальномер, с помощью которого расстояния порядка 100 км измеряются за 4—5 мин. с точностью до сотых процента. Этот и другие приборы, основанные на радиоинтерференции, получили применение в морской навигации и при гео-

---

но — в оптической части спектра, также привело к важному открытию. Речь идет о фазовой микроскопии, которая позволяет видеть и изучать под микроскопом неокрашенные прозрачные объекты. Возможность такой микроскопии ускользнула от внимания создателей современной теории микроскопического изображения — Аббе и Рэля — только потому, что они недостаточно интересовались фазами дифрагирующих пучков в микроскопе.



дезических съемках. Скорость распространения электромагнитных волн измерялась в ряде экспедиций, причем в измерениях на Черном море результаты были получены с погрешностью в 2—3 десятых процента. Эти измерения показали, что скорость распространения электромагнитных волн над морем равна скорости света.

Рассмотренными работами далеко не исчерпываются исследования распространения радиоволн, выполненные в СССР. Укажем работы по изучению законов распространения волн метрового диапазона, выполненные Б. А. Введенским с сотрудниками. Наиболее полная и строгая теория дифракционного распространения радиоволн развита В. А. Фоком. Ряд других ценных экспериментальных и теоретических работ М. А. Бонч-Бруевича, Б. А. Введенского, А. Н. Щукина и др. по распространению радиоволн выходит за рамки настоящего обзора.

Последние годы также отмечены рядом значительных успехов в развитии отечественной радиофизики. Укажем лишь на некоторые из них.

Л. И. Мандельштам и Н. Д. Папалекси еще в годы Великой Отечественной войны обратили внимание на интересные возможности использования радио в астрономии (радиолокация Луны). В дальнейшем, по инициативе Н. Д. Папалекси, были проведены теоретические расчеты радиоизлучения Солнца (В. Л. Гинзбург) и наблюдения этого излучения во время солнечного затмения в состоявшейся летом 1947 г. под руководством С. Э. Хайкина экспедиции в Бразилию. С этого времени, благодаря главным образом усилиям С. Э. Хайкина, началось развитие радиоастрономии в СССР. К настоящему времени оно уже дало много важных результатов как теоретических (И. С. Шкловский), так и экспериментальных (В. В. Виткевич, А. Е. Саломонович и др.). Укажем, например, на открытие В. В. Виткевичем солнечной «сверхкороны» — электронных неоднородностей, простирающихся на огромные (порядка 15 солнечных радиусов) расстояния от Солнца.

Мы ограничиваемся этим кратким упоминанием о радиоастрономических работах, так как теперь они уже в большей степени относятся к астрофизике.

С 1951 г. А. М. Прохоровым были развернуты исследования по радиоспектроскопии, т. е. исследования молекул, а также атомных ядер, по их поведению в электромагнитных полях радиочастотного диапазона. Примерно тогда



же Н. Г. Басовым и А. М. Прохоровым была выдвинута идея так называемого «молекулярного генератора» электрических колебаний сверхвысоких радиочастот, который основан на индуцированном радиоизлучении молекул и, обладая чрезвычайно высокой стабильностью частоты, может быть использован в качестве эталона времени. Первый макет такого генератора был осуществлен и запущен в 1955 г.

В совокупности работы по радиоспектроскопии и молекулярному генератору, широко развиваемые и в настоящее время, выдвинули советскую радиофизику на одно из ведущих мест в данной области.

Уже с первых шагов разработки теории нелинейных колебаний в СССР Л. И. Мандельштам и А. А. Андронов обратили внимание не только на динамическое описание колебательных систем, но и на статистическое, учитывающее наличие случайных (флюктуационных) процессов. Дальнейшие исследования роли флюктуаций в ламповом генераторе позволили не только теоретически оценить его принципиальную монохроматичность, но и измерить эту «естественную» спектральную ширину линии генератора, несмотря на ее чрезвычайную малость (в относительной мере — порядка  $10^{-13}$ ). Это было сделано И. Л. Берштейном и стало возможным благодаря предложенному им очень остроумному радиофизическому методу измерения весьма малых разностей фаз (до сотых долей угловой секунды). Г. С. Горелик предложил и осуществил затем ряд исключительно интересных применений указанного фазометрического метода, имеющих большое самостоятельное значение. Сюда относится повторение вихревого опыта Саньяка в радиодиапазоне, применение модуляционного метода в оптической интерферометрии, измерение весьма малых сравнительно с длиной световой волны амплитуд механических колебаний (порядка сотых долей ангстрема), измерение угловых диаметров звезд и др.

Дальнейшее развитие получили и теоретические работы по статистическим явлениям в автоколебательных системах (С. М. Рытов, Г. С. Горелик и др.) и в иных нелинейных устройствах (В. И. Бунимович и др.). То обстоятельство, что принципиальная роль статистических явлений в теории нелинейных колебаний была осознана у нас задолго до того, как этот круг проблем приобрел практический интерес, сыграло положительную роль, поставив советскую

радиофизику на более высокий уровень в этой области, нежели достигнутый за рубежом.

В значительной мере к статистической радиофизике относятся и работы последних лет по теории электрических флюктуаций и теплового излучения. Здесь удалось построить на основе общей электродинамики теорию тепловых флюктуаций электромагнитного поля (С. М. Рытов). Эта теория, охватывая наряду с предельными случаями классической теории теплового излучения (приближение геометрической оптики) и теории тепловых «шумов» в электрических цепях (квазистационарное приближение), применима и в той промежуточной области, когда длина волны сравнима с размерами тел. Такие условия имеют место в большинстве радиотехнических устройств диапазона сверхвысоких частот. Таким образом, указанная теория находит здесь непосредственное приложение и уже была использована при разработке теплового стандарта электрического «шума» на сантиметровых волнах. Вместе с тем эта теория послужила основой для ряда других исследований, в том числе — по тепловому излучению анизотропных сред (Ф. В. Бункин), по теории молекулярных сил сцепления (Е. М. Лифшиц) и др.

### Низкие температуры

Исследования в этой области выполнялись в двух крупных центрах: под руководством П. Л. Капицы в Институте физических проблем в Москве и в криогенной лаборатории Физико-технического института АН УССР в Харькове.

Работы П. Л. Капицы представляют собой прежде всего крупный шаг вперед в деле создания нового типа машин для ожижения газов в техническом масштабе. Следует напомнить, что существуют вообще два метода охлаждения и ожижения газов. В первом — охлаждение обусловлено совершением внутренней работы (эффект Джоуля — Томсона). Этот метод используется в широко распространенных и описанных во всех учебниках машинах Линде. Во втором — газ охлаждается при адиабатическом расширении, причем это охлаждение достигается за счет совершения газом в н е ш н е й р а б о т ы. Такое охлаждение наблюдалось еще в 1819 году Клеманом и Дезормом при адиабатическом расширении газа, когда давление в сосуде понижалось при выпуске части газа через кран. Можно



показать, что при таком расширении остающийся в сосуде газ сообщает определенную кинетическую энергию уходящему газу и адиабатически охлаждается. Явление это хорошо известно каждому, выполнявшему в физическом практикуме работу по определению отношения теплоемкостей газа по методу Клемана и Дезорма. Оно использовалось иногда в лабораторных экспериментах по охлаждению и ожижению газов (Ольшевский, 1895 г.— ожижение водорода, Симон, 1933 г.— ожижение гелия), а в промышленном масштабе — для ожижения воздуха — был разработан и осуществлен Ж. Клодом во Франции. Построение основанной на этом принципе технически оформленной машины для непрерывного ожижения гелия встречало, однако, большие затруднения, которые были впервые преодолены Капицей в построенном им в 1934 г. гелиевом ожижителе.

Тот же принцип охлаждения, за счет совершаемой газом внешней работы при адиабатическом расширении, был использован П. Л. Капицей в машине нового типа для промышленного получения жидкого воздуха. В этой машине газ совершал внешнюю работу, приводя во вращение высокоэффективную турбину (турбодетандер). Эта экспериментальная турбина имела диаметр всего 8 см, весила только 250 г, но работала при 40 000 оборотов в минуту. На основе этой турбины Капица разработал и построил экспериментальную установку для получения жидкого воздуха. В этой машине воздух предварительно сжимается всего до 4—5 атмосфер, в то время как в принятых в промышленности установках, где охлаждение достигается за счет эффекта Джоуля — Томсона, начальное сжатие равно 200 атмосферам, а в машинах Клода — около 40 атмосфер. Таким образом, успешным построением машины на основе турбодетандера в технику получения низких температур был введен новый принцип — принцип машин низкого давления. Эффективность этих машин особенно для целей разделения воздуха, подтвержденная практикой их промышленного применения в СССР и за рубежом, чрезвычайно высока. Советскими инженерами была проделана большая работа по дальнейшему усовершенствованию и внедрению этого метода, и в 1956 г. в Туле была пущена крупнейшая установка низкого давления, которая должна вырабатывать 12 500 м<sup>3</sup> кислорода в час.

В настоящее время техника получения больших количеств кислорода, имеющего столь важные применения в



металлургии и в других областях техники в СССР и за рубежом, пошла именно по пути использования машин низкого давления, указанному П. Л. Капицей.

Из физических явлений, наблюдаемых при самых низких температурах, наибольший интерес представляют, как известно, сверхпроводимость металлов и сверхтекучесть гелия II. Последнее явление было открыто и весьма детально — теоретически и экспериментально — исследовано советскими физиками. При температуре  $2,19^\circ \text{K}$  (так называемая  $\lambda$ -точка) гелий, оставаясь жидкостью вплоть до самых низких достигнутых температур, переходит в состояние, называемое гелием II, в котором он обладает рядом поразительных свойств. Одним из наиболее замечательных свойств гелия II является его необычайно высокая теплопередача в узких капиллярах, открытая Кэзомом и его дочерью (Голландия). С другой стороны, опыты Капицы показали, что даже наиболее тщательные определения вязкости при протекании гелия II через узкие щели могут дать только верхний предел ее величины: истинное значение вязкости настолько мало, что оно не поддается определению. Но легко видеть, что ничтожная вязкость находится в противоречии со сверхтеплопроводностью. Действительно, передача тепла путем теплопроводности предполагает передачу импульса и энергии от атома к атому, т. е. предполагает взаимодействие между атомами. Но при этом условии вязкость не может быть исчезающе-малой. Этот кажущийся парадокс был разрешен рядом тонких и вместе с тем замечательных по своей наглядной убедительности экспериментов Капицы, которые показали с полной очевидностью, что высокая теплопередача в гелии II объясняется не его теплопроводностью, но переносом тепла конвекцией: гелий II есть жидкость не сверхтеплопроводящая, но сверхтекучая. Таким образом, опытами Капицы было открыто и детально исследовано новое явление — сверхтекучесть.

Процесс теплопередачи в гелии II изучался как в щелях и капиллярах, так и в свободном гелии II. Для изучения теплопередачи в свободном гелии II оптическим путем П. Г. Стрелков построил оптический дьюар с плоско-параллельными оптически отполированными флянцами, позволявший применить известный оптический метод Теплера.

Объяснение сверхтекучести гелия II дано Л. Д. Ландау после предварительных работ Ф. Лондона и Э.Тиссы. Вообще

говоря, сверхтекучесть является квантовым свойством гелия II. В самом деле, при температуре  $2\text{--}3^\circ\text{K}$  длина волны Де-Бройля становится сравнимой с межатомными расстояниями в жидкости, вследствие чего в свойствах гелия II должны обнаруживаться квантовые явления. Эти квантовые свойства обнаруживаются уже в том, что гелий II остается жидким вплоть до температуры абсолютного нуля, тогда как согласно классической физике при абсолютном нуле все тела должны находиться в твердом кристаллическом состоянии. Интересно отметить, что гелий II является единственной существующей в природе квантовой жидкостью: все другие жидкости затвердевают значительно раньше, нежели в них начнут проявляться квантовые свойства.

Рассматривая гелий II как квантовую жидкость, Ландау в своей теории прежде всего устанавливает энергетический спектр этой жидкости, т. е. совокупность ее уровней энергии. При этом, поскольку речь идет о системе сильно взаимодействующих частиц, имеются в виду уровни всей жидкости в целом, но не отдельных ее атомов. Хотя такая задача полностью не разрешима, на основании общих теоретических соображений можно сделать ряд утверждений, достаточных для объяснения свойств гелия II. Ландау пользуется при этом допустимым в квантовой механике рассмотрением слабо возбужденных состояний как совокупности «элементарных возбуждений», которым, в свою очередь, сопоставляются «квазичастицы». Напомним, что, например, тепловое возбуждение кристалла можно рассматривать либо как дебаевские тепловые волны, распространяющиеся в кристалле, либо как совокупность квазичастиц — звуковых квантов, фононов — сопоставляемых этим волнам наподобие того, как фотоны сопоставляются электромагнитным волнам. В теории Ландау рассматриваются два основных типа энергетических спектров макроскопических систем — в одном соответствующие квазичастицы подчиняются статистике Бозе — Эйнштейна (бозе-частицы), в другом — статистике Ферми (ферми-частицы). При этом оказывается, что жидкий гелий должен обладать спектром типа бозе-частиц, тогда как спектр ферми-частиц вообще никогда не приводит к сверхтекучести. На основании подобных, весьма общих соображений о свойствах квантовой жидкости Ландау не только объяснил свойства гелия II, но и успешно предсказал ряд новых явлений.



Для дальнейшего развития теории гелия II существенное значение имела работа Н. Н. Боголюбова (1947), в которой изящным образом решалась задача об энергетическом спектре неидеального бозе-газа, т. е. бозе-газа со слабым взаимодействием между частицами. Смысл такой постановки задачи состоит в том, чтобы на простой, хотя бы и схематической, модели рассмотреть, каким образом мог возникнуть энергетический спектр макроскопического тела со свойствами, описанными теорией квантовой жидкости Ландау. Действительно оказалось, что энергетический спектр неидеального бозе-газа весьма близок к спектру гелия II в теории Ландау.

Этот вывод подтверждается тем, что  $He^4$ , подчиняющийся статистике Бозе, обнаруживает сверхтекучесть, а  $He^3$ , подчиняющийся статистике Ферми, не переходит в сверхтекучее состояние, хотя и остается жидким вплоть до абсолютного нуля. Работы с  $He^3$  и с растворами  $He^3$  в  $He^4$  широко проводились как за рубежом, так и в СССР Б. Г. Лазаревым (в Харькове) и В. П. Пешковым с сотрудниками в Институте физических проблем в Москве.

Из теории сверхтекучести следовало далее, что в гелии II возможно существование двух видов движения: один вид соответствует движению обычной вязкой жидкости, другой — движению идеальной жидкости, не обладающей вязкостью. Иначе говоря, гелий II в известном смысле можно рассматривать как смесь двух жидкостей: обыкновенной и сверхтекучей. Из этого следует, что при перемещении в гелии II твердого тела будет увлекаться только «обыкновенная» часть гелия II, тогда как сверхтекучая будет оставаться неподвижной. Этот парадоксальный вывод теории был подтвержден опытами Э. Л. Андроникашвили, в которых изучались крутильные колебания стопки металлических дисков, погруженной в гелий II.

Одним из наиболее интересных следствий теории Ландау является необходимость существования в гелии II, наряду с обычным или первым звуком, еще так называемого «второго звука» — тепловых волн, распространяющихся со скоростью, существенно отличающейся от скорости первого звука. Это явление, предсказанное Ландау и рассчитанное Е. М. Лифшицем, получило полное подтверждение в работах В. П. Пешкова, обнаружившего и детально исследовавшего второй звук в гелии II.



С успехом исследовалось и явление сверхпроводимости. Здесь следует отметить теоретические работы Л. Д. Ландау и В. Л. Гинзбурга, а в последнее время — Н. Н. Боголюбова. Экспериментальному изучению сверхпроводимости были посвящены работы Л. В. Шубникова, А. И. Шальникова, Н. Е. Алексеевского. Работы Ландау были посвящены природе переходного состояния между сверхпроводящим и несверхпроводящим состояниями. Согласно его теории промежуточное состояние представляет собой смесь сверхпроводящих и нормальных слоев, чередующихся друг с другом. Эта слоистая структура была полностью подтверждена опытами А. И. Шальникова. Ряд работ по свойствам электронов в металлах, куда относятся работы по эффекту де Гааза — ван Альфвена, выполнен Шенбергом в Институте физических проблем и Б. Г. Лазаревым с сотрудниками. К той же области относятся работы по гальваномагнитным свойствам металлов (изменение сопротивления в магнитном поле — П. Л. Капица, А. С. Боровик-Романов, Б. Г. Лазарев).

В теории сверхпроводимости также были достигнуты существенные успехи. Макроскопическая теория сверхпроводимости, где переход в сверхпроводящее состояние рассматривается как фазовый переход второго рода, была развита В. Л. Гинзбургом и Л. Д. Ландау. Эта теория позволила объяснить ряд экспериментальных фактов, как, например, поведение сверхпроводника в магнитном поле и некоторые другие явления.

Большим событием в физике в 1957 г. явилось создание после ряда безуспешных попыток в течение сорока пяти лет, протекших со времени открытия этого замечательного явления, микроскопической, квантовой теории сверхпроводимости.

Физическая сущность этой интересной теории может быть описана следующим образом. Электроны в металле обычно рассматривают как газ. На самом деле, ввиду сильных взаимодействий электронов правильнее говорить об «электронной жидкости» в металле, а сверхпроводимость формально можно рассматривать как сверхтекучесть электронной жидкости. Однако на пути проведения этой аналогии прежде всего стоит тот факт, что электроны подчиняются статистике Ферми, а жидкость фермионовых частиц, как показал Ландау (см. выше), никогда не может быть сверхтекучей. Недавно, однако, было показано, что этого препятствия в

действительности не существует. Именно, несколько лет назад Г. Фрелих обратил внимание на то, что свойства сверхпроводимости можно понять только в том случае, если учесть взаимодействие электронов с колебаниями решетки металла. Это взаимодействие таково, что оно приводит в конечном счете к притяжению электронов. Следующий шаг сделал английский теоретик Л. Купер, который показал, что указанное притяжение ведет к попарному объединению электронов. В таком случае, однако, возникают сложные частицы, состоящие из двух электронов и обладающие поэтому четным спином, т. е. подчиняющиеся статистике Бозе, а не Ферми. Благодаря этому открывается возможность развития теории сверхпроводимости как сверхтекучести электронной жидкости. Такая теория в полном согласии со всеми экспериментальными данными была развита Бардиным, Купером и Шриффером в США и независимо от них Н. Н. Боголюбовым в СССР.

### Физика твердого тела

Важные результаты, относящиеся к изучению механических свойств твердых тел, были получены А. Ф. Иоффе и его обширной школой.

С точки зрения современной физики твердое тело — это кристалл. Но реальные твердые тела, с которыми мы имеем дело в технике и в обыденной жизни, по своим механическим свойствам сильно отличаются от идеальных кристаллов. Идеальное кристаллическое тело по прекращении деформации должно тотчас же вернуться к своему первоначальному состоянию, но на самом деле всякая деформация вызывает в твердом теле лишь медленно исчезающий след — упругое последствие. Как объяснить это противоречие? Прежде всего твердые тела, в которых наблюдается последствие, усталость и другие явления, на самом деле вовсе не являются однородными кристаллами. А. Ф. Иоффе в одной из своих ранних работ показал, что в кристалле кварца истинного последствия и не наблюдается. Таким образом, все явления, происходящие за пределом упругости, являются результатом физической неоднородности твердого тела.

При достаточной величине деформации твердое тело начинает течь как вязкая жидкость. Механизм такой пластической деформации также раскрыт А. Ф. Иоффе, который



впервые применил с этой целью рентгенографический анализ, наблюдая на флуоресцирующем экране картину Лауэ при растяжении каменной соли. Оказалось, что когда растягивающее усилие переходит известный предел (предел текучести), пятна рентгенограммы внезапно раздваиваются, затем умножаются и, наконец, вытягиваются в целые хвосты. Это показывает, что механизм пластической деформации заключается в том, что цельный кристалл распадается на отдельные мелкие кристаллики, которые смещаются и поворачиваются друг относительно друга. Эти работы А. Ф. Иоффе дали толчок развитию целой новой области (рентгенографический анализ пластической деформации), которой посвящены сотни работ, выполненных во всех странах. Мы не имеем возможности здесь охарактеризовать многочисленные дальнейшие работы учеников и сотрудников А. Ф. Иоффе в этом направлении. Отметим только два факта. Во-первых, И. В. Обренмов при помощи разработанного им тонкого оптического метода показал, что сдвиги по определенным кристаллографическим плоскостям начинаются задолго до появления искажений в рентгеновской картине. Во-вторых, А. Ф. Иоффе обнаружил, а М. В. Классен-Неклюдова детально исследовала совершенно новый эффект: прерывистость процесса деформации. При непрерывно приложенной нагрузке деформация идет скачками, повторяющимися через поразительно одинаковые промежутки времени и сопровождающимися легким звуком, напоминающим тикание часов. Явление это изучалось целым рядом советских ученых (Н. Н. Давиденков, А. В. Степанов), а также за границей. Теория его была дана Н. Давиденковым и М. Классен-Неклюдовой.

Механическим свойствам твердых тел было посвящено большое количество работ, выполненных также и в других лабораториях. Отметим здесь многочисленные работы В. Д. Кузнецова и его сотрудников. Ими были разработаны удобные методы измерения твердости и других механических констант твердых тел, изучено влияние различных факторов на предел упругости, поверхностная энергия твердых тел и т. д. Результаты всех работ сведены В. Д. Кузнецовым в монографии «Физика твердого тела».

Применению рентгенографического анализа к изучению механических свойств твердых тел было посвящено столь значительное количество работ советских физиков, что мы не имеем здесь никакой возможности ни охарактеризовать

Эти работы, ни назвать их авторов. Мы отметим лишь несколько работ, носивших пионерский характер. С. Т. Кобоевскому и Н. Е. Успенскому принадлежит первая в литературе обстоятельная работа по применению рентгенографического анализа к изучению внутреннего механизма процессов обработки металла (вальцовка). Н. Я. Селяков и Г. В. Курдюмов впервые показали, что закаленная сталь имеет кристаллическую решетку, отличную от решетки железа. В физике металлов — металловедении — применение рентгеноструктурных методов приобрело важнейшее значение. Особенно разносторонние и обширные исследования в этой области принадлежат Г. В. Курдюмову и его многочисленным сотрудникам. Эти важные с научной и практической точек зрения работы были посвящены строению сплавов, природе закалки и отпуска и другим проблемам, представляющим самый непосредственный интерес и большое значение для металлургии.

Другое направление работ в этой области, связанное с идеями, получившими мировое признание, школы Н. С. Курнакова (Н. В. Агеев с сотрудниками, и др.), по своему характеру лежит ближе к физической и неорганической химии и потому выходит за рамки нашей статьи.

С помощью рентгеноструктурного анализа определена структура многих силикатов и развиты общие соображения о роли плотной упаковки в структуре неорганических соединений (Н. В. Белов); получены новые данные относительно строения органических кристаллов (А. И. Китайгородский); систематическая работа по применению рентгеноструктурного анализа к теоретической химии выполнена Г. С. Ждановым.

Нельзя не отметить также и большую организаторскую работу, проделанную в этой области. Рентгенографический анализ является в настоящее время незаменимым подспорьем для заводских лабораторий. Рентгеновская лаборатория на заводе, особенно на металлургическом, выполняет весьма важную функцию. Благодаря развитию у нас работ в области рентгенографического анализа заводские рентгеновские лаборатории получили кадры подготовленных работников, и в самой организации этих лабораторий, в пропаганде их важности на производстве была проделана значительная работа.

Как самостоятельный метод структурного анализа большое развитие получил электронографический анализ



(В. Е. Лашкарев, З. Г. Пинскер, Н. А. Шишаков, Б. К. Вайнштейн и др.), с помощью которого определены структуры ряда неорганических и органических соединений. обстоятельный обзор советских работ в этой области дан З. Г. Пинскером в монографии «Дифракция электронов» (Москва, 1949).

Очень большое внимание в СССР и за границей привлекли работы А. Ф. Иоффе по изучению прочности твердых тел. Теория кристаллической решетки, разработанная Борном, давала возможность вычислить, какие усилия необходимы для разрыва кристаллов. Эти вычисленные значения усилий оказались во много раз больше реально наблюдаемых. Так, каменная соль теоретически должна выдерживать напряжения до  $200 \text{ кг/мм}^2$ , тогда как на самом деле она разрывается при нагрузке всего в  $400 \text{ г/мм}^2$ . А. Ф. Иоффе показал, что это расхождение объясняется свойствами поверхности кристалла. Погрузив кристалл каменной соли в теплую воду, он достиг упрочнения его в 10—12 раз. А. Ф. Иоффе объяснил это упрочнение растворением поверхностного слоя и уничтожением таким путем поверхностных трещинок, сильно понижающих предел прочности. Работы эти произвели большое впечатление во всем мире и вызвали оживленное обсуждение, в итоге которого как экспериментальные результаты, так и теоретические предпосылки А. Ф. Иоффе были подтверждены.

Отметим, далее, работы П. А. Ребиндера, показавшего, какую огромную роль в пластических свойствах образца играют поверхностные условия: введение на поверхность ничтожного количества поверхностно активных веществ во много раз снижает предел текучести.

Работы П. П. Кобеко, А. П. Александрова, Е. В. Кувшинского и др. на основе обширного опытного материала привели к широким обобщениям и новому пониманию упруго-релаксационных свойств высокомолекулярных соединений типа резин.

Из работ, ближе примыкающих к кристаллографии, отметим работы А. В. Шубникова, указавшего на важную роль понятия антисимметрии в описании свойств кристаллов. Ему же принадлежит ряд достижений в области теории и экспериментального осуществления роста кристаллов. Работы руководимого А. В. Шубниковым Института кристаллографии АН СССР по выращиванию монокристаллов обеспечили отечественную промышленность кристаллами

корунда, необходимыми для производства часов, пьезоэлектрическими, полупроводниковыми и др. кристаллами.

Тепловым свойствам твердых тел были посвящены в высшей степени точные работы П. Г. Стрелкова. В. В. Тарасову удалось найти ценную формулу для теплоемкости слоистых решеток.

### Физика диэлектриков

В этой области существенные результаты принадлежат также школе А. Ф. Иоффе. Уже в своих ранних работах, выполненных совместно с В. К. Рентгеном, А. Ф. Иоффе показал, что хотя электропроводность диэлектрических кристаллов носит главным образом ионный характер, фотопроводимость рентгенизированной или естественно окрашенной каменной соли обязана электронам. В связи с этим запутанная картина, наблюдаемая при прохождении тока через диэлектрик, главным образом обусловлена объемными зарядами, скопляющимися в разных местах.

Так, например, уменьшение силы тока с течением времени, наблюдающееся в большинстве диэлектриков, объясняется возникновением обратной электродвижущей силы, обусловленной объемными зарядами, скопляющимися вблизи электродов. Присутствие ничтожного количества посторонних примесей ведет к скоплению возле них ионов, создающих объемный заряд и осложняющих картину прохождения тока.

Большое внимание было уделено проблеме электрической прочности. Теоретические работы В. А. Фока, посвященные господствовавшей в то время так называемой тепловой теории пробоя, и непосредственно связанные с ними работы Н. Н. Семенова выяснили пределы применимости этой теории и показали, что в обычных условиях, при комнатной температуре, механизм пробоя должен быть иным. Ввиду этого А. Ф. Иоффе развил теорию пробоя, основанную на представлении о лавинной ионизации. Хотя надежды на возможность получения «тонкослойной изоляции», возникшие в связи с этим представлением и с изучением так называемой «высоковольтной поляризации» в диэлектрических кристаллах, и не оправдались, большая работа по изучению диэлектрических свойств кристаллов и тонких пленок и пробоя диэлектриков принесла много ценных результатов. Плодотворные в научном и практическом



отношении исследования диэлектрических свойств аморфных тел выполнены П. П. Кобеко, А. П. Александровым, С. Н. Журковым и др.

В тесной связи с исследованием диэлектриков и полупроводников находится изучение так называемых сегнетоэлектриков. Типичным представителем их является сегнетова соль, отличающаяся аномально высокой величиной диэлектрической проницаемости и наличием гистерезиса — свойствами, характерными для ферромагнитных веществ, ввиду чего сегнетова соль и аналогичные ей вещества в последнее время часто называются ферроэлектриками. Обстоятельное экспериментальное и теоретическое исследование свойств сегнетовой соли было впервые выполнено в 1930—1932 гг. И. В. Курчатовым, Б. В. Курчатовым и П. П. Кобеко.

В 1945 г. Б. М. Вул и И. М. Гольдман открыли новый сегнетоэлектрик — титанат бария, отличающийся многими благоприятными свойствами по сравнению с самой сегнетовой солью и изоморфными с ней кристаллами. Это открытие послужило толчком к многочисленным работам по исследованию сегнетоэлектриков нового типа, причем оказалось, что титанат бария является лишь одним из многих сегнетоэлектриков этого типа. В последнее время сегнетоэлектрические материалы получают все большее применение в различных областях техники.

## Физика полупроводников

Исследование полупроводников за последнее время выдвинулось как важнейшая научная и научно-техническая проблема. С точки зрения электрических свойств полупроводники охватывают наиболее обширный класс тел, встречающихся в природе. На свойствах полупроводников основаны многочисленные технические устройства — выпрямители, фотоэлементы, термисторы, полупроводниковые триоды (транзисторы) и ряд других. Интерес к физическим свойствам и техническим применениям полупроводников настолько велик, что эта область за последнее время начинает конкурировать с привлекающей к себе наибольшее внимание физикой атомного ядра. Советским физикам в этой области принадлежит ряд достижений. Особенно ценные результаты дали работы А. Ф. Иоффе, А. В. Иоффе,

Я. И. Френкеля, В. П. Жүзе, В. Е. Лашкарева, С. И. Пекара, С. Г. Калашникова и др.

В основе физического понимания свойств полупроводников лежит — при всех ее недостатках и ограниченности — зонная теория кристаллов.

Согласно этой теории уровни энергии кристалла образуют широкие «зоны» тесно расположенных уровней, разделенные большими промежутками. Эти уровни принадлежат уже не отдельным атомам или молекулам, но всему кристаллу в целом. По образному выражению Я. И. Френкеля электроны центров, образующих кристалл, «коллективизируются». Так как на каждом уровне, по принципу Паули, может находиться максимально два электрона, то все уровни нижней или валентной зоны уже заполнены, тогда как верхняя зона остается свободной. Переход электрона из нижней зоны в зону проводимости требует большой энергии, значительно превосходящей среднюю энергию теплового движения, чем и объясняется плохая проводимость изоляторов и полупроводников при достаточно низких температурах.

Если, однако, тем или иным способом электрон перейдет из нижней, валентной зоны в зону проводимости, то в последней появится электрон, обладающий способностью свободно перемещаться по кристаллу, а в валентной зоне — появится пустое место, «дырка», эквивалентная положительному заряду. В соответствии с этим исследование носителей тока в полупроводниках ( $\text{Cu}_2\text{O}$ , Se,  $\text{V}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Cu}_2\text{S}$  и др.) привело к представлению об «электронном» и «дырочном» механизмах проводимости и позволило отчетливо разделить исследованные полупроводники на эти два класса — «электронные» и «дырочные» полупроводники. В. П. Жүзе, Б. В. Курчатов, Б. М. Гохберг и др. детально исследовали механизм проводимости в зависимости от различных факторов.

С зонной теорией кристаллов связаны также работы, посвященные так называемой теории «поляронов». Электрон, медленно движущийся в зоне проводимости ионного кристалла, находится в поле, потенциал которого обусловлен поляризацией среды, и в свою очередь кулоново поле электрона действует на поляризацию среды. При медленном движении электрона вместе с ним движется и создаваемое им состояние поляризации, т. е. успевает установиться равновесие между полем электрона и поляризацией среды, в



то время как участки, оставленные электроном, возвращаются в исходное состояние. Такие образования, состоящие из электрона и находящегося с ним в равновесии поля, движущиеся в ионном кристалле, называются поляронами. Теория поляронов была детально развита С. И. Пекаром. Математически более точное решение задачи о медленном движении электрона в поляризованной среде было дано Н. Н. Боголюбовым и С. В. Тябликовым.

Изучение процессов поглощения света кристаллами привело Я. И. Френкеля к разработке гипотезы о существовании особых состояний возбуждения, перемещающихся по кристаллу, но не связанных при этом с переносом электрического заряда.

Я. И. Френкель обратил внимание на то, что если в какой-либо ячейке идеального кристалла возникнет возбуждение, то это возбуждение может передаваться резонансным путем от ячейки к ячейке. Благодаря этому по кристаллу будет распространяться волна возбуждения, с которой будет связана миграция энергии без переноса заряда. Этой волне возбуждения можно сопоставить квазичастицу, которую Я. И. Френкель назвал «экситоном». Эта идея оказалась в высшей степени плодотворной. Она позволила объяснить некоторые своеобразные особенности внутреннего фотоэффекта в закиси меди, экспериментально открытые А. В. и А. Ф. Иоффе, но казавшиеся непонятными, она открыла путь для понимания механизма поглощения света и легла в основу теории поглощения света молекулярными кристаллами, развитой А. С. Давыдовым (см. стр. 22). Впоследствии Н. Мотт несколько конкретизировал представление об экситоне, рассматривая систему из электрона и положительной дырки, связанных кулоновыми силами, как квазиводородный атом, или, точнее, квазипозитрон, поскольку эффективные массы электрона и «дырки» приблизительно одинаковы. Е. Ф. Гросс открыл в некоторых полупроводниках при низких температурах «водородоподобный спектр», представляющий собой совокупность узких линий, сходящихся к пределу и удовлетворяющих формуле типа Бальмеровой. Это открытие рассматривается как экспериментальное доказательство реальности экситона.

Одним из наиболее ярких результатов исследований, проведенных в последнее время, является экспериментальное открытие Е. Ф. Гроссом с сотрудниками «водородоподоб-

ного» спектра у некоторых кристаллических полупроводников, которое рассматривается как экспериментальное доказательство реальности экситонов.

Глубокому исследованию подверглись также процессы, происходящие на контакте двух различных полупроводников или полупроводника с металлом (А. Ф. Иоффе, А. В. Иоффе, теоретические работы Д. И. Блохинцева, Б. И. Давыдова, С. И. Пекара), а также явления на поверхности полупроводника. В частности, И. Е. Тамм показал, что на внешней поверхности кристалла должны возникать особые «поверхностные» энергетические уровни, играющие большую роль в истолковании различных сложных явлений в реальных полупроводниках.

Привлекшее к себе в последние годы внимание открытие так называемого циклотронного резонанса было предсказано Я. Г. Дорфманом.

Наряду с достижениями научного характера следует отметить и ряд важных практических достижений (Институт полупроводников Академии наук СССР и Физический институт Украинской Академии наук): разработку новых фотоэлементов с запирающим слоем (серно-таллиевые и сернисто-серебряные), обнаруживающих высокие выходы по току, разработку выпрямителей. Полупроводниковые термоэлементы (Институт полупроводников АН СССР) получили применение в построении термобатарей, успешно применяемых в качестве источников тока для радиоприемников. Обратный эффект — термоэлектрическое охлаждение — с наименьшим успехом используется в разработанных Институтом полупроводников полупроводниковых холодильниках, показавших «реальную возможность создания термоэлектрического холодильника в промышленном оформлении, более экономичного, чем холодильники абсорбционного типа» \*).

## Электроника

Изучение внешнего фотоэффекта послужило основой для развития квантовой теории света. Ввиду этого строгая проверка основного фотоэлектрического уравнения Эйнштейна имела большое принципиальное значение. Эта зада-

---

\*) А. Ф. Иоффе, А. С. Сильбанс, Е. К. Иорданович, Т. С. Ставицкая, Термоэлектрическое охлаждение, Изд. АН СССР, 1956, стр. 87.



ча была решена П. И. Лукирским и С. С. Прилежаевым при помощи остроумного метода сферического конденсатора, разработанного П. И. Лукирским. Теми же исследователями было получено наиболее точное значение универсальной постоянной Планка. Квантовомеханическая теория внешнего фотоэффекта была впервые, в 1931 г., развита И. Е. Таммом и С. П. Шубиным. Советским ученым принадлежат также многочисленные исследования фотоэлементов с внешним фотоэффектом — кислородно-цезиевых (П. В. Тимофеев) и сурьмяно-цезиевых (П. И. Лукирский, С. А. Векшинский, С. Ю. Лукьянов, Н. С. Хлебников, Н. Д. Моргулис и др.).

Получивший в настоящее время широчайшие применения в измерительной технике фотоумножитель был впервые изобретен и построен в СССР Л. А. Кубецким.

Внутренний фотоэффект в диэлектриках и полупроводниках также служил предметом большого числа важных работ (А. Ф. Иоффе и А. В. Иоффе, П. С. Тартаковский и др.). Интересный фотомагнитный эффект был открыт И. К. Киконным и М. М. Носковым: при освещении кристалла закиси меди, помещенного в поперечное магнитное поле, возникает электродвижущая сила порядка  $1 \text{ в}$ .

После открытия электронной дифракции советскими физиками был осуществлен ряд работ пионерского характера (П. С. Тартаковский, В. Е. Лашкарев, А. И. Алиханян). В области электронной оптики важные теоретические труды принадлежат Г. А. Гринбергу, разработавшему (1942) общую теорию фокусировки электронов в электрических и магнитных полях.

Л. А. Арцимовичем были рассмотрены электронно-оптические свойства так называемых эмиссионных систем, содержащих объекты, которые являются источниками медленных электронов. Итогом работы в области экспериментальной электронной оптики явилось создание А. А. Лебедевым и его сотрудниками отечественной модели электронного микроскопа.

Наконец, проблема электрической проводимости в газах за последние годы приобрела выдающийся интерес как с теоретической, так и с прикладной точек зрения. С одной стороны, большие успехи в области исследования строения вещества и разработка тончайших экспериментальных методов позволили поставить вопрос об элементарных процессах при газовом разряде, с другой стороны, роль газо-

вого разряда в различных электровакуумных приборах (усилители, тиратроны, газотроны и т. д.) и интенсивная разработка вопросов, связанных с конструированием новых экономичных источников света, привлекли внимание к изучению макроскопических характеристик газового разряда. Из работ советских физиков в этой области отметим работы Н. А. Капцова (зажигание газового разряда, корона), Г. В. Спивака (роль метастабильных атомов в газовом разряде, теория зондов, коэффициенты аккомодации), Н. Д. Моргулиса (катодное распыление), В. Л. Грановского (плазма газового разряда). Из работ, связанных с проблемой построения экономичных газосветных ламп, необходимо отметить работы В. А. Фабриканта (излучение разряда в парах металлов), Б. Н. Клярфельда, А. М. Шемаева.

### Магнетизм

В области учения о магнетизме отметим прежде всего три принципиально важные работы, относящиеся к магнетизму элементарных частиц. В 1920 г., за год до опубликования известной работы Герлаха и Штерна (1921), П. Л. Капица и Н. Н. Семенов разработали проект метода определения магнитного момента атома путем измерения отклонения атомного луча в неоднородном магнитном поле и дали полный расчет установки. Это именно тот метод, при посредстве которого Герлах и Штерн независимо от советских ученых экспериментально доказали существование пространственного квантования \*).

Другая принципиально важная работа, относящаяся к магнетизму элементарных частиц, принадлежит Л. Д. Ландау, который показал, что газ свободных электронов должен обнаруживать диамагнитный эффект.

Не менее важная работа была выполнена и опубликована в 1937 г. Б. Г. Лазаревым и Л. В. Шубниковым (Харьков). Как известно, спиновый парамагнетизм электрона,

---

\*) Ввиду того, что эта работа Капицы и Семенова в силу случайных исторических обстоятельств осталась малоизвестной, мы приведем здесь точную ссылку с названием работы. Работа была опубликована на английском языке в 1922 г., но датирована еще декабрем 1920 г.: «On the possibility of an experimental determination of the magnetic moment of an atom», Журнал Русского физико-химического общества, Физический отдел, т. 50, вып. 4—6 (1922).



обусловленный его магнитным дипольным моментом, есть слабое явление. Но еще более слабым является я д е р н ы й парамагнетизм, так как он определяется собственными магнитными моментами протона и нейтрона, которые по порядку величины примерно в 1000 раз меньше магнитного момента электрона. Поэтому, когда Лазареву и Шубникову удалось обнаружить и измерить прямым экспериментом (при помощи магнитных весов) ядерную восприимчивость твердого водорода, охлажденного до  $2^{\circ}$  К, то этот результат мог быть поставлен наравне с лучшими рекордами экспериментальной техники. Недаром один из виднейших современных специалистов в области ядерного магнетизма, американский физик Парселл, назвал опыт Лазарева и Шубникова «триумфом физического эксперимента» \*).

Отметим, что кажущийся на первый взгляд парадоксальным вывод о существовании магнитного момента у нейтрона был впервые сделан (1934) И. Е. Таммом и С. А. Альтшулером, которые правильно оценили и знак этого момента.

Одним из наиболее ярких достижений в физике за последние 20 лет было открытие Е. К. Завойским в 1945 г. так называемого «парамагнитного резонанса» (в настоящее время он чаще называется электронным спиновым резонансом для отличия от ядерного магнитного резонанса).

Явление состоит в том, что атомы или молекулы, обладающие «неспаренными» электронными спинами и ориентированные по правилам пространственного квантования сильным постоянным магнитным полем, переориентируются своими магнитными моментами под действием перпендикулярного к постоянному слабого переменного магнитного поля электромагнитной волны. При этом в случае резонанса между частотой электромагнитного поля и собственной частотой атомов или молекул в твердом парамагнетике возникает резко выраженное селективное поглощение электромагнитной волны. Расчет показывает, что при напряженности постоянного поля в 10 000 эрстед резонанс должен наблюдаться при частотах электромагнитных волн, соответствующих сантиметровому диапазону, т. е. диапазону волн, применяемых в радиолокационной технике.

Это открытие, отмеченное в СССР премией имени В. И. Ленина 1956 г., привлекло к себе чрезвычайно большое внимание, а за последние годы начинает приобретать

---

\*) Purcell, Nuclear Magnetism, Amer. Journ. of Phys., **22**, 1 (1954).

все более широкие применения как аналитический метод необычайной чувствительности. В СССР интенсивная разработка метода парамагнитного резонанса и его применения ведется в Казанском филиале Академии наук СССР под руководством Б. М. Козырева и С. А. Альтшулера. Аналогичные явления электронного резонанса должны наблюдаться не только в парамагнетиках, но и в ферромагнетиках. Экспериментально ферромагнитный резонанс был открыт также Е. К. Завойским (и независимо — Гриффитсом в США). Однако теория ферромагнитного резонанса была развита еще в 1935 г. Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшицем, а самая идея магнитного резонанса была выдвинута и обоснована в 1923 г. Я. Г. Дорфманом, указавшим на значение открытого В. К. Аркадьевым еще в 1913 г. и затем изученного в двадцатых годах селективного поглощения электромагнитных волн в железных проволоках, названного Аркадьевым «магнитными спектрами».

Важнейшей проблемой в учении о магнетизме является объяснение сильной восприимчивости железа и других ферромагнетиков. Уже в начале XX столетия было ясно, что причиной этого сильного намагничивания должно являться особое молекулярное поле, но физическая природа этого поля не могла быть удовлетворительно объяснена в рамках классической физики: с одной стороны, из опытов с гиромангнитными явлениями (опыт Эйнштейна — де Гааза, опыт Барнетта) следовало, что носителями элементарного магнитного момента («элементарными магнетиками») в ферромагнетике являются электронные спины, а с другой стороны, магнитные взаимодействия между электронами слишком слабы, чтобы при их помощи можно было объяснить природу молекулярного поля. Эта загадка качественно разрешалась блестящей идеей Я. И. Френкеля, указавшего на то, что гораздо более сильные взаимодействия, нежели чисто магнитные, электроны должны испытывать вследствие квантовомеханического эффекта обмена, имеющего порядок величины электростатического взаимодействия. При этом энергетически наиболее выгодным может быть такое состояние, при котором спины электронов располагаются параллельно. Как известно, та же идея лежит в основе развитой позднее Гейзенбергом квантовой теории ферромагнетизма.

Ряд важных работ по теории ферромагнетизма выполнен С. В. Вонсовским, Н. С. Акуловым, Е. М. Кондорским и их



сотрудниками. Широкое применение в промышленности получили магнитные методы контроля качества металлов (магнитная дефектоскопия). Основные работы в этом направлении принадлежат В. К. Аркадьеву и Р. И. Янусу.

## Акустика

Самым разнообразным разделам акустики — от общей теории акустики движущейся среды и до проблем архитектурной акустики и практических методов точных измерений акустических величин — посвящены работы Н. Н. Андреева. Им создана большая школа советских акустиков, которые разрабатывают теоретические вопросы распространения звука в неоднородной и слоистой среде с границами (Л. М. Бреховских); вопросы так называемой звуковой оптики, относящиеся к преломлению и фокусировке звуковых волн (Л. Д. Розенберг); проблемы озвучения открытых пространств и помещений (Ю. М. Сухаревский и Б. Д. Тартаковский); вопросы акустики шума (В. С. Григорьев). Широкие исследования были проведены в 1930—1940 гг. в области музыкальной акустики группой сотрудников научно-исследовательского института музыкальной промышленности (А. В. Римский-Корсаков, А. А. Харкевич, Б. П. Константинов, Н. А. Дьяконов, А. И. Белов, И. Г. Русаков, П. А. Матвеев и др.). Работы касались физики музыкальных инструментов, их материалов, конструкции и акустических свойств. По архитектурной акустике была выполнена серия работ в связи с проектированием Дворца Советов. С. Н. Ржевкин и Г. Д. Малюжинец провели ряд теоретических и экспериментальных исследований по особым резонансным поглотителям, позволяющим успешно разрешить проблему звукопоглощения в очень больших залах. В области ультразвука следует отметить работы П. А. Бажулина по поглощению ультразвуковых волн в жидкостях и работы С. Я. Соколова, создавшего оригинальный метод ультразвуковой дефектоскопии.

---

---

### III. ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ. НАУЧНАЯ ЛИТЕРАТУРА

В огромной степени выросли кадры физиков. До революции в России число физиков, занимавшихся научной работой, не превосходило 100 человек, сейчас у нас тысячи физиков, среди которых несколько сот докторов. Вместо немногочисленных, весьма скромно оборудованных лабораторий при кафедрах университетов мы имеем крупнейшие научно-исследовательские институты и многие сотни отраслевых технических институтов, в каждом из которых в той или иной степени ведутся физические работы. Богатство оборудования наших институтов неоднократно отмечалось зарубежными учеными, посещавшими СССР в последние годы для участия в научных конференциях. В качестве конкретного примера можно упомянуть, что стоимость оборудования, безвозмездно переданного Советским правительством Объединенному институту ядерных исследований, оценивалась суммой около полумиллиарда рублей. Хотя, в связи с организацией большого числа мощных исследовательских институтов, центр тяжести всех ведущихся работ, естественно, сосредоточен в этих институтах, активная исследовательская работа ведется также и на кафедрах университетов и других высших учебных заведениях. Постановление Совета Министров СССР от 12 апреля 1956 года «О мерах улучшения научно-исследовательской работы в высших учебных заведениях» открывает перед лабораториями при кафедрах новые возможности.

Съезды и конференции играют в научной жизни страны большую роль. До революции в России более или менее периодически собирались «Съезды русских естествоиспытателей и врачей», где физике отводилась одна секция. В 1908 г. на таком съезде Лебедев с триумфом



доложил о своей работе о давлении света на газы. После революции, начиная с упоминавшегося в начале статьи первого съезда 1918 г., в двадцатых и в начале тридцатых годов стали созываться съезды физиков с несколькими секциями. Число участников в них постоянно росло; почти во всех съездах принимали участие и крупные иностранные ученые (М. Борн, Дж. Франк, Дж. Дарвин, П. Дебай, Р. Поль и др.), выступавшие с докладами и в дискуссиях. Наконец, в послевоенное время объем работы и соответственно число участников и число докладов настолько увеличились, что созыв общих съездов физиков стал нецелесообразным. На смену съездам пришли тематические конференции: по полупроводникам, спектроскопии, люминесценции, низким температурам, по различным ядерным проблемам и т. п. Число участников этих конференций также непрерывно растет и приходится организовывать на некоторых конференциях две, а иногда и большее число секций. Для масштаба приведем одну цифру: конференция по спектроскопии, состоявшаяся во Львове летом 1956 г., собрала около 1500 членов; не меньшее число членов собирали конференции по полупроводникам, по физике частиц высоких энергий. В последние годы участие иностранных физиков в работе этих конференций стало обычным явлением.

---

Русская научная литература по физике до революции была необычайно бедна. Несколько превосходных учебников, таких, как «Введение в акустику и оптику» Столетова, «Электричество» Эйхенвальда, университетские лекции по физике Н. А. Умова, а также ряд литографированных лекций профессоров давали возможность студентам младших курсов изучать физику. Но для более глубокого изучения этой науки, в частности для изучения теоретической физики, абсолютно необходимо было прибегать к монографиям и серьезным руководствам на иностранных языках. В качестве исключения можно назвать только пятитомный «Курс физики» О. Д. Хвольсона, сыгравший большую роль в поднятии уровня культуры в области физики в России и переведенный на немецкий и французский языки, но, впрочем, носивший скорее характер энциклопедии с недостатками, присущими этого рода изданиям.

С самого начала революции издание научной, учебной и научно-популярной литературы было поставлено в со-

вершенно ином, неизмеримо более широком масштабе. В результате за 40 лет литература по физике так выросла, что не только для специальных университетских курсов, но и для кандидатских экзаменов, а также для углубленного изучения тех или иных проблем почти по всем вопросам можно указать серьезные монографии и руководства на русском языке. Постепенно развивается также учебная и научно-популярная литература на языках народов СССР. Ряд советских руководств и монографий переведен на иностранные языки.

Обзор советской физической литературы мог бы составить предмет специальной статьи. Здесь мы ограничимся лишь отдельными примерами. Уникальный многотомный курс теоретической физики Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшица занимает в мировой литературе по физике совершенно особое положение. Ни на одном языке не существует курса теоретической физики высшего уровня, который соединял бы такую полноту охвата всей физики с полной оригинальностью: весь курс написан с единой точки зрения и является совершенной противоположностью обычным при таком масштабе эклектическим курсам. Некоторые тома «Теоретической физики» Ландау и Лифшица переведены на английский язык.

Многочисленные руководства почти по всем разделам теоретической физики и монографии по специальным вопросам, написанные Я. И. Френкелем, также отличались оригинальностью, хотя некоторые из них были спорными. Почти все они выходили в переводах на немецкий и английский языки. В. А. Фоку принадлежит руководство по квантовой механике и оригинальная монография по общей теории относительности. Большую роль в создании высокого уровня преподавания теоретической физики сыграли курсы «Основы теории электричества» И. Е. Тамма, «Статистическая физика» и «Введение в термодинамику» М. А. Леонтовича. «Основы квантовой механики» Д. И. Блохинцева соединяют педагогические достоинства с оригинальностью трактовки философских проблем квантовой механики; книга вышла в переводе на немецкий язык. «Введение в статистическую физику» В. Г. Левича представляет собой доступное и вместе с тем достаточно серьезное руководство по этому трудному отделу теоретической физики. Позволю себе также упомянуть мою двухтомную «Атомную физику», которая приобрела широкое распространение в Советском Союзе и



далеко за его рубежами (она переведена на семь иностранных языков).

Важная проблема создания вполне современных курсов общей физики также с успехом решалась советскими авторами. Из большого числа выходявших за истекшие 40 лет учебников упомянем получивший широкое распространение и переведенный на иностранные языки трехтомный университетский курс С. Э. Фриша и А. В. Тиморевой, являющийся итогом многолетнего преподавания авторов в Ленинградском университете. Опыт преподавания физики в Московском университете использован в многотомном «Общем курсе физики», каждая часть которого имеет самостоятельный интерес и значение. Вышедшие тома: «Механика» С. Э. Хайкина \*), а также «Механика» С. П. Стрелкова, «Оптика» Г. С. Ландсберга, «Электричество» С. Г. Калашникова отличаются большой свежестью, оригинальностью, тщательной дидактической продуманностью.

Ряд ценных монографий большого научного значения был выпущен за истекший период. Уже упоминалась монография А. А. Андропова и С. Э. Хайкина по нелинейным колебаниям. Упомянем «Физику кристаллов» и «Физику полупроводников» А. Ф. Иоффе, «Современное учение о магнетизме» С. В. Вонсовского, двухтомную монографию «Колебания молекул» М. А. Ельяшевича, М. В. Волькенштейна и Б. И. Степанова. «Космические лучи» Д. В. Скобельцына давали полную картину состояния вопроса ко времени выхода книги (1936), новая монография на ту же тему написана Н. А. Добротиним. Ограничимся этими примерами, хотя список можно было бы, конечно, продолжить.

Обогатили советскую литературу также и переводы важнейших иностранных руководств и монографий. «Теория электричества» Абрагама — Беккера, «Оптика» Друде и «Физическая оптика» Вуда, «Методы математической физики» Куранта — Гильберта, «Математическая физика» Мизеса — Франка и многие другие книги в хороших переводах теперь легко доступны советскому студенту и научному работнику. Большое число фундаментальных научных монографий иностранных авторов в течение последних 10 лет выпущено Издательством иностранной литературы, деятельность которого заслуживает большой

\*) Некоторые части этой книги вызвали в свое время критику с философской точки зрения, что, однако, не умаляет педагогической ценности этой оригинальной книги в целом.



С. И. ВАВИЛОВ



благодарности. Отметим серию монографий по спектроскопии Кондона и Шортли, Герцберга, Гаррисона, Луфбурова и Лорда; фундаментальные монографии по ядерной физике (двухтомная «Экспериментальная ядерная физика» под редакцией Э. Сегре, «Ядерная физика» Э. Ферми и др.), монографии по полупроводникам, ультразвуку, пьезоэлектричеству и по многим другим актуальным проблемам физики.

Наконец, большое значение для подъема культуры в области физики сыграло издание трудов классиков науки, с большой любовью выпускавшееся Государственным издательством технико-теоретической литературы (ныне Физматгиз) и Издательством Академии наук. За истекшие 40 лет были выпущены в прекрасных переводах и красивых изданиях труды Архимеда, Стэвина, Галилея, Ньютона, Гюйгенса, Лагранжа, Гильберта, Леонардо да Винчи, Фарадея, Гельмгольца, Майера, Ломоносова, Лебедева, Столетова и ряда других классиков нашей науки. В этом важном деле освещения истории физики особенно велики заслуги слишком рано скончавшегося президента Академии наук С. И. Вавилова, превосходно знавшего, любившего историю науки и обогатившего нашу литературу переводами и комментариями всех оптических трудов Ньютона, работами об оптических трудах Галилея и Ломоносова.

Наконец, очень ценными являются предпринятые Академией наук собрания трудов выдающихся русских ученых (Мандельштама, Папалекси, Вавилова, Лазарева).

Периодические издания, предназначенные для опубликования оригинальных работ и обзоров, также получили значительный рост. До революции для опубликования физических оригинальных работ существовал только один журнал: «Журнал Русского физико-химического общества. Часть физическая». Его небольшой объем был достаточен для опубликования 30—40 работ в год, которыми практически исчерпывалась в то время оригинальная научная продукция по физике. Вторая часть этого журнала выходившая также отдельно под названием «Вопросы физики», публиковала обзорные статьи и имела весьма скромные размеры.

После революции для публикации оригинальных работ были предназначены периодические издания: «Журнал экспериментальной и теоретической физики» и «Журнал технической физики». «Известия Академии наук. Серия физи-

ческая» имели своей задачей главным образом публикацию трудов научных конференций. Краткие сообщения о важнейших работах публиковались в «Докладах Академии наук». В течение последних лет продукция советских институтов и лабораторий настолько выросла, что перечисленных изданий оказалось совершенно недостаточно для своевременного опубликования работ. Ввиду этого было предпринято издание целого ряда новых специализированных журналов. Таковы: «Оптика и спектроскопия», «Кристаллография», «Электроника», «Атомная энергия», «Физика металлов», «Методика и техника физического эксперимента», «Акустический журнал» и др. Следует, однако, отметить, что даже и это сильно увеличенное число журналов не справляется с потоком поступающих в редакцию работ и публикация их затягивается на продолжительные сроки.

В огромной степени выросли также и средства научной информации о новых работах и о современном состоянии актуальных проблем физики. В 1918 г. начал выходить новый обзорный журнал «Успехи физических наук», который с тех пор выходит непрерывно и не прерывался даже в трудные дни гражданской войны и Великой Отечественной войны. Журнал этот пользуется широкой известностью в СССР и за рубежом. Публикуемые в нем обзорные работы советских физиков широко цитируются в мировой научной литературе, а многие из них переводятся на иностранные языки. В 1953 г. Академией наук создан мощный Институт научной информации, который издает реферативные журналы по различным отраслям знания, в том числе, конечно, и по физике. Реферативный журнал «Физика» по полноте охвата мировой литературы по физике далеко превосходит аналогичные иностранные реферативные журналы «Physikalische Berichte» и «Physics Abstracts». В то время как эти иностранные журналы освещают 15—17 тысяч публикаций в год, журнал «Физика» за 1956 год дал свыше 36 тысяч рефератов и библиографических описаний. При этом надо еще иметь в виду, что, например, работы по механике реферируются в «Physikalische Berichte», тогда как для реферирования этих работ в СССР издается специальный журнал «Механика». То же относится к астрофизическим работам, которые реферируются в журнале «Астрономия».

---



#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы теперь можем подвести итог и вернуться к сказанному в начале статьи. Предыдущий, далеко не полный очерк развития физики в СССР за 40 лет говорит сам за себя: «вклады в область знания» (повторяя приведенные в начале слова Н. А. Умова) советских физиков с избытком покрыли долг нашей страны перед историей науки. В самом деле, работы наших физиков охватывают все области этой науки и нет такого раздела, куда бы эти работы не внесли много существенно нового. Важные открытия в области физики, сделанные в нашей стране, проложили новые пути в науке, создали новые направления, в значительной степени развиваемые советскими учеными, а также, конечно, и учеными зарубежных стран. Теперь уже почти в каждом добросовестном обзоре советские теоретические и экспериментальные работы играют заметную, а в некоторых случаях — ведущую роль.

Но это еще не все. В то время, когда в дореволюционной России физика практически целиком была сосредоточена на университетских кафедрах, тематика работ складывалась совершенно стихийно. Но поскольку после революции центр тяжести исследовательских работ был перенесен в сотни больших и малых исследовательских институтов, где научный работник мог и должен был посвящать все свое время исследовательской работе, будучи во всех отношениях обеспечен государством, — естественно возникла потребность планового развития науки. Эта идея плановости в тематике научных исследований первоначально была встречена недоверчиво; она казалась противоречащей творческому характеру научного исследования; не сразу были найдены и наиболее целесообразные формы планирования. Однако эти трудности давали себя знать только в самом начале, и плановое развитие науки быстро себя оправдало. На протяже-

нии истекших лет оно представляло преимущество советской науки. Более того, важность планомерного развития науки, при той колоссальной роли, которую в настоящее время наука играет в жизни государства, хотя и не сразу, понята и за рубежом.

Другое преимущество организации науки в СССР — тесная связь науки с запросами жизни, с потребностями производства. Уже организаторы первых исследовательских физических институтов в СССР — Д. С. Рождественский, А. Ф. Иоффе, П. П. Лазарев — хорошо понимали важность связи физики с запросами жизни, так как эта связь не только отвечает потребностям государства, но и питает самую науку новыми проблемами и идеями. В наши дни, после XX съезда КПСС, поставившего перед учеными задачу неуклонного подъема роли науки в решении практических задач коммунистического строительства, эта связь между развитием физики и потребностями промышленности, сельского хозяйства, народного здравоохранения и советской культуры резко возрастает.

И, наконец, советская наука вообще и физика в частности сильна своей связью с народом. Наука перестала быть делом небольшой группы людей, огромное количество талантливых людей «пришли в науку» из среды рабочих и крестьян. И, лишь немного перефразируя слова Д. И. Менделеева, взятые в качестве эпиграфа к этой книге, мы с полным правом можем сказать: «Поистине посев научный возшел для жатвы народной!».

---



## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие . . . . .	3
I. Физика в России перед революцией и начало организации советской физики . . . . .	5
II. Обзор работ советских физиков . . . . .	18
Теоретическая физика . . . . .	18
Атомное ядро и космические лучи . . . . .	23
Оптика . . . . .	29
Радиофизика и теория колебаний . . . . .	47
Низкие температуры . . . . .	57
Физика твердого тела . . . . .	63
Физика диэлектриков . . . . .	67
Физика полупроводников . . . . .	68
Электроника . . . . .	71
Магнетизм . . . . .	73
Акустика . . . . .	76
III. Организационные вопросы. Научная литература . . . . .	77
IV. Заключение. . . . .	85

---

*Шпольский Эдуард Владимирович*

Сорок лет советской физики.

Редактор *Кузнецова Е. Б.*

Техн. редактор *Ермакова Е. А.*

Корректор *Каган А. С.*

---

Сдано в набор 25 IV 1958 г.

Подписано к печати 30 VI 1958 г.

Бумага  $84 \times 108\frac{1}{2}$ . Физ. печ. л. 2,75.

Условн. печ. л. 4,51.

Уч.-изд. л. 4,10. Тираж 10 000 экз. Т-03979.

Цена книги 1 р. 25 к. Заказ № 1835.

---

Государственное издательство физико-  
математической литературы.  
Москва, В-71, Ленинский проспект, 15.

---

Первая Образцовая типография  
имени А. А. Жданова  
Московского городского Совнархоза.  
Москва, Ж-54, Валовая, 28.



Цена 1 р. 25 к.